

Departement für Nutztiere
Klinik für Wiederkäuer
der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich

Arbeit unter der Leitung von Prof. Dr. med. vet. Karl Nuss

**Kraftverteilung unter den Klauen laktierender Milchkühe bei
unterschiedlicher Standfläche vor und nach der Klauenpflege**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Nancy Anette Cardona Gavaldon

Tierärztin
aus Zwickau, Deutschland

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. med. vet. Karl Nuss, Referent
Prof. Dr. med. vet. Marcus Clauss, Korreferent

2018

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	6
2. Summary.....	8
3. Einleitung und Zielsetzung	10
4. Literaturübersicht.....	12
4.1. Prävalenz und Relevanz von Klauenerkrankungen	12
4.2. Einflussfaktoren auf Klauenerkrankungen	13
4.3. Klauenpflege	15
4.4. Klauenmasse	18
4.5. Druck und Kraftverteilungsmessung	22
4.6. Neigung der Standfläche, Podest.....	32
5. Material und Methoden.....	34
5.1. Tiere.....	34
5.2. Messstand.....	35
5.3. Messung bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche	36
und Messung mit dem Podest.....	36
5.4. Messsystem	38
5.5. Versuchsvorbereitung	39
5.6. Klauenpflege	40
5.7. Versuchsdurchführung	40
5.8. Ermittelte Parameter	42
6. Resultate	47
6.1. Tiere.....	47
6.2. Kraftverteilung an den Klauen der Gliedmassen von laktierenden Milchkühen und ihre Einflussfaktoren	47
6.3. Änderung der Kraftverteilung an den Klauen bei vorne erhöhter Standfläche.....	60
6.4. Änderung der Kraftverteilung an den Klauen nach Klauenpflege.....	64
6.5. Änderung der Dorsalwandlänge nach Klauenpflege	66
6.6. Änderung des Winkels der Dorsalwand nach Klauenpflege.....	67
6.7. Änderung der Ballenlänge nach Klauenpflege.....	68
7. Diskussion.....	71
7.1. Material und Methodik	71
7.2. Ergebnisse	74
7.3. Schlussfolgerungen.....	84
8. Literaturverzeichnis.....	86
9. Lebenslauf	
10. Danksagung	
11. Anhang: Auflistung Versuchstiere.....	

1. Zusammenfassung

Bei 32 laktierenden Kühen der Rassen Schweizer Braunvieh (12 Kühe), Schweizer Rot- (10) und Schwarzfleck (10) wurden die Gewichtskräfte unter den Klauen mittels einer Druck- und einer Kraftmessplatte vor und nach Klauenpflege untersucht. Die vertikalen Bodenreaktionskräfte wurden bei ebener und bei 3% nach kaudal geneigter Standfläche sowie einer „Podest“-Position (Vorderbeine um 25 cm erhöht) an Vorder- oder Hintergliedmassen simultan erfasst. Ermittelt wurden die Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hintergliedmassen, zwischen rechtem und linkem Bein eines Gliedmassenpaares sowie zwischen den Aussen- und Innenklauen. Zuletzt wurden die Klauen hinsichtlich der Dorsalwandlänge, des Dorsalwandwinkels sowie der Ballenlänge vermessen.

Die Vordergliedmassen trugen stets einen höheren Anteil der Gewichtskräfte; beim Wechsel zur «Podest»-Position ergab sich eine kleine, statistisch aber signifikante Entlastung der Hintergliedmassen (von 46.3 % auf 45.6 %; $p < 0.01$). An den Vordergliedmassen trugen die Innenklauen, an den Hintergliedmassen die Aussenklauen signifikant ($p < 0.001$) mehr Gewicht als die Partnerklauen (75.5% bzw. 66%). Durch den Positionswechsel von der ebenen hin zu der 3% nach kaudal geneigten Standfläche wurden die Innenklauen der Vorderbeine signifikant stärker belastet.

Der direkte Abstand zwischen den Vorderbeinen betrug durchschnittlich 23.8 cm, der zwischen den Hinterbeinen durchschnittlich 31 cm. Das Körpergewicht übte einen Einfluss auf den Gliedmassenabstand der Vorderbeine aus, indem schwerere Tiere diese weiter auseinander stellten. Eine höhere Milchleistung führte zu einem grösseren Abstand der Hinterbeine. Ein grösserer Abstand zwischen rechtem und linkem Bein eines Gliedmassenpaares führte an den Vorderbeinen zu einer ausgeglicheneren Gewichtsbelastung zwischen rechtem und linkem Bein, jedoch zu einer vermehrten Belastung der Innenklauen. An den Hintergliedmassen war die Lastverteilung auf die Gliedmassen bei grösserem Abstand zunehmend weniger ausgeglichen, jedoch zwischen den Klauen ausgeglichener.

Nach Klauenpflege war die Gewichtsverteilung zwischen Innen- und Aussenklauen an den Hintergliedmassen ausgeglichener als vorher, jedoch wurde immer noch die Aussenklaue vermehrt belastet; an den Vordergliedmassen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied in der Gewichtsverteilung zwischen Innen-

und Aussenklauen vor und nach Klauenpflege nachgewiesen werden. Die Dorsalwände waren bei allen Kühen kurz, ohne dass eine dünne Sohle vorhanden war.

Die bei der „Podestposition“ festgestellte Gewichtsverschiebung zu den Vorderbeinen hin, die in einer Entlastung der Hinterbeine resultierte, würde eine Erklärung dafür liefern, warum Kühe mit Klauenerkrankungen an den Hinterbeinen diese Position gerne einnehmen. Die Effekte der Positionen und der Klauenpflege fielen jedoch insgesamt weniger ins Gewicht als die Abstände zwischen den Gliedmassen. Eine ausgleichende Wirkung der tendomuskulären Verbindung der Vorderbeine zum Rumpf auf die unterschiedliche Belastung der Klauen war nur teilweise feststellbar, die Innenklaue war stets stark überlastet.

2. Summary

Thirty-two lactating cows including 12 Brown Swiss, 10 Swiss Red Holstein and 10 Holstein Friesian cows were used to measure the weight-bearing forces of the claws before and after foot trimming, using a force plate and a pressure plate. In a novel approach, the vertical ground reaction forces of fore- and hind feet were measured simultaneously on level ground, on a 3% slope, and during „perching“ in which the forefeet were 25 cm higher than the hind limbs. The force distributions between fore- and hind limbs, between paired limbs and between paired medial and lateral claws were analysed, and dorsal wall length, dorsal wall angle and heel length of the claws were measured.

The forelimbs bore more weight in all three positions. A significant decrease in weight-bearing from 46.3 to 45.6% ($p < 0.01$) occurred in the hind limbs when the standing position was changed from level and sloped ground to perching. The medial claws of the forelimbs and the lateral claws of the hind limbs bore significantly more weight than their partner claws (75.5 and 66.0%, respectively; < 0.001). A significant increase in weight-bearing by the medial claws of the forelimbs occurred when the position was changed from level ground to a 3% slope.

The transverse distance between the forefeet was 23.8 cm and between the hind feet 31.0 cm. Heavier cows normally assumed a more base-wide stance than lighter cows, and the distance between the hind feet was positively correlated with milk yield. When the distribution of weight-bearing between the hind limbs became more even, so did the weight-bearing of the paired claws of the hind feet. In animals with a larger distance between the forefeet the distribution of weight-bearing by the forelimbs became more even, and when the distance between the hind feet was increased, the distribution of weight-bearing by the hind limbs became more uneven. In the forefeet, overload of the medial claws increased when the distribution of weight-bearing between the limbs became more even but this was significant only after trimming.

After trimming, weight-bearing by the paired hind claws was more even than before trimming but the lateral continued to bear more weight than the medial claw. The distribution of weight-bearing between paired front claws did not differ before and after trimming. The dorsal wall length was relatively short in all cows but sole thickness was normal.

The shift of weight-bearing from the hind limbs to the forelimbs in perching cows may help explain why cows with diseased hind claws may prefer this position. Of note, the effects of position and foot trimming on distribution of weight-bearing were less pronounced than the effects of distance between paired limbs. Although the forelimbs are largely attached to the rump by tenomuscular structures rather than by rigid skeletal structures, this did not contribute to an even (50 : 50) weight distribution between paired front claws, and the medial claws always bore more weight.

3. Einleitung und Zielsetzung

Klauenerkrankungen gehören nach wie vor zu den wichtigsten Abgangsursachen von Kühen (Kuczaj et al., 2008; Orpin and Esslemont, 2010; Olechnowicz and Jaśkowski, 2011; Ackermann et al., 2013). «Lahmheiten» sind nach Eutererkrankungen und Infertilität die dritthäufigste Ursache für ein verfrühtes Schlachten von Kühen (Jan and Jaśkowski, 2010; Naumann and Brungs, 2014). In der Schweiz treten Sohlengeschwüre nach Becker et al. (2014) mit einer Prävalenz von 11.5% auf. Sohlengeschwüre resultieren signifikant öfter in verfrühter Schlachtung der Kuh als bei anderen Klauenkrankheiten (Cramer et al., 2009b, a). Die Aussenklauen der Hintergliedmassen sind für Sohlengeschwüre prädisponiert (Rusterholz, 1920; Main et al., 2003; Barker et al., 2010). Anhand von Kraft- und Druckmessungen wurde festgestellt, dass die Aussenklaue der Hintergliedmassen im Stehen und im Gehen vermehrt belastet wird (van der Tol et al., 2002; Meyer et al., 2007; Schmid et al., 2009). In den letzten Jahren wurde nachgewiesen, dass die Aussenzehe bei Wiederkäuern länger ist als die Innenzehe (Muggli, 2007; Schwarzmann et al., 2007; Keller et al., 2009). Dies stellt möglicherweise einen entscheidenden Faktor für die Überlastung und nachfolgende Erkrankung der Aussenklauen der Hinterbeine dar.

Kühe werden heutzutage grösstenteils in Laufställen gehalten. Es ist inzwischen vielfach nachgewiesen, dass die Prävalenz von Klauenerkrankungen in Laufställen höher als in Anbindeställen ist (Bergsten and Herlin, 1996; Sogstad et al., 2005; Cramer et al., 2008). Dies liegt wahrscheinlich zum einen an der grösseren Beanspruchung der Klauen, andererseits an dem Aufweichen des Horns durch Exkremepte sowie dem erhöhten Abrieb auf Betonböden. Auch bei einer Haltung auf Gummimatten treten jedoch Sohlengeschwüre auf (Kremer et al., 2007; Fjeldaas et al., 2011).

Kühe zeigen verschiedene Reaktionsmuster in Bezug auf Lahmheit: sie haben eine verminderte Stehzeit (Navarro et al., 2013), längere Liegezeit (Ito et al., 2010), fressen weniger (Palmer et al., 2012), geben weniger Milch (Rajala-Schultz et al., 1999) und zeigen unterschiedliche Lahmheitsgrade (Chapinal et al., 2009b). Regelmässig werden auch Tiere beobachtet, die mit den Vorderbeinen in den Liegeboxen und mit den Hinterbeinen im Laufgang/Kotgraben stehen (Colam-Ainsworth et al., 1989; Galindo and Broom, 2000; Chapinal et al., 2009a). Das

Stehen in dieser Position war mit einer erhöhten Lahmheitsprävalenz bei Färsen assoziiert (Colam-Ainsworth et al., 1989). Weiterhin stand es mit vermehrten interdigitalen und Ballenerkrankungen in Zusammenhang und wurde vor allem bei rangniedrigen Tieren vermehrt gesehen (Galindo and Broom, 2000). Bisher gibt es nur eine Untersuchung zu den Druck- und Kraftverhältnissen unter den Klauen von laktierenden Kühen beim Einnehmen einer «Podestposition» (Chapinal et al., 2009a). Der Einfluss der Neigung der Standfläche auf die Klauenbelastung ist bisher nur einmal bei Kühen untersucht worden (Bruderer, 2015).

Deshalb war es das Ziel der hier vorgelegten Arbeit, die Druck- und Kraftverteilungen an den Klauen von Milchkühen an Schulter- und Beckengliedmassen bei einer Neigung der Standfläche sowie einer «Podestposition» zu messen. Ausserdem sollen verschiedene Faktoren mit Einfluss auf die Kraftverteilung, wie Abstand der Gliedmassenpaare und Klauenpflege, untersucht werden.

Es wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

Das Einnehmen der «Podestposition» sowie die Neigung der Standfläche führt zu einer Mehrbelastung der Vordergliedmassen und zu einer ausgeglicheneren Lastverteilung zwischen Aussen- und Innenklauen an den Hintergliedmassen. Klauenpflege führt zu einer ausgeglicheneren Lastverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen der Vorder- und Hintergliedmassen. Weiter wurde postuliert, dass mit grösser werdendem Abstand zwischen den Gliedmassen (Vorder- oder Hintergliedmassen) die Belastung zwischen rechtem und linkem Bein desselben Gliedmassenpaars ausgeglichener ist, da es den Tieren schwerer fällt, den Schwerpunkt über nur eine Gliedmasse zu verschieben.

4. Literaturübersicht

4.1. Prävalenz und Relevanz von Klauenerkrankungen

Lahmheiten als Folge von Klauenerkrankungen sind nach wie vor eine der wichtigsten, in der Häufigkeit zunehmende Abgangsursache von Kühen (Kuczaj et al., 2008; Orpin and Esslemont, 2010; Olechnowicz and Jaśkowski, 2011; Ackermann et al., 2013). Lahmheiten in der Milchviehhaltung führen zu erheblichen finanziellen Einbussen (Enting et al., 1997; Jan and Jaśkowski, 2010). Dabei ist ein starker Anstieg der Prävalenz von Lahmheiten und Klauenläsionen nach der ersten Kalbung (Capon et al., 2009) sowie von der ersten zu weiteren Kalbungen (Bicalho et al., 2009) zu verzeichnen. Die Prävalenz von Lahmheiten variiert dabei stark von Land zu Land, aber auch innerhalb von Ländern. So wurde in Schweden eine Prävalenz von 5% (Manske et al., 2002b), in Neuseeland eine von 8.1% (Fabian et al., 2014), in den Niederlanden von 16.5% (Amory et al., 2006), in England und Wales von 34% (Amory et al., 2008) sowie eine von 34% in Österreich und Deutschland (Dippel et al., 2009) sowie eine von 10.6% bis 48.2% in den USA (Bicalho et al., 2009; Adams et al., 2017) eruiert. In der Schweiz wurde von Becker et al. (2014) eine Lahmheitsprävalenz von 14.8% bei Milchkühen ermittelt.

Der Anteil von Defekten der weissen Linie war mit 80.7% die am häufigsten auftretende Klauenläsion in der Schweiz (Becker et al., 2014), gefolgt von «signalisierender Klauenerkrankung» (56.6%), Ballenhornfäule (34.2%), Dermatitis-Digitalis-Komplex (29.1%), schwerer Sohlenblutung (27.9%) und Rusterholzschem Sohlengeschwür (11.5%). Weniger häufig traten subklinische Klauenrehe (5.4%), chronische Klauenrehe (3.3%), eitrig-hohle Wand (4.7%), Doppelsohle (2.6%), Zwischenklauenwarze (3.1%), Sohlengeschwür (0.4%), Sohlenspitzeninfektion durch Klauenpflege (3.9%) und verletzungsbedingte Schäden (0.1%), tiefergehende Verletzung (0.4%) und Phlegmona interdigitalis (0.1%) auf. Besondere Beachtung kam nach Ansicht der Autoren dabei der Dermatitis digitalis zu, die sich in den letzten zehn Jahren zur wichtigsten Klauenerkrankung entwickelte (Becker et al., 2014). In einer älteren Untersuchung betrug die Prävalenz für Defekte an der Sohle in der Schweiz 15.7%, für Ballenhornfäule 13.6%, für Defekte der weissen Linie 6.1% und für Defekte der Haut sowie des Zwischenklauenspaltes 5.3% (Bielfeldt et al. (2005)).

4.2. Einflussfaktoren auf Klauenerkrankungen

4.2.1. Haltungsform

Zum Einfluss der Haltungsform auf die Prävalenz von Lahmheiten und Klauenerkrankungen liegen in der Literatur widersprüchliche Angaben vor. Nach Sogstad et al. (2005) und Cramer et al. (2008) ergab sich eine geringere Prävalenz von Klauenerkrankungen in der Anbinde- als in Laufstallhaltung. Nach Bielfeldt et al. (2005) war die Prävalenz von Lahmheiten und von Klauenerkrankungen in Laufstallhaltung mit Auslauf (7.7%) geringer als in Anbindehaltung mit Auslauf (9.6%) oder ohne Auslauf (13.2%). Einzig die eitrige-hohle Wand wies eine höhere Prävalenz in der Laufstallhaltung (9.4%) gegenüber der Anbindehaltung (5.1%) auf (Bielfeldt et al., 2005).

Weidehaltung hatte einen positiven Einfluss auf die Prävalenz von Lahmheiten (Hernandez-Mendo et al., 2007; Olmos et al., 2009a). Der positive Effekt auf Klauenerkrankungen schien dabei nachhaltig zu sein und bis über die Weidesaison hinauszugehen. So war die Lahmheitsprävalenz bei später im Stall gehaltenen Tieren geringer, wenn sie vorher geweidet worden waren (Haskell et al., 2006; de Vries et al., 2015). Ausserdem wurden höhere Prävalenzen von Klauenerkrankungen (infektiöse und nicht-infektiöse) bei den Tieren gefunden, die vornehmlich im Stall gehalten wurden, und dies führte folglich zu mehr lahmen Kühen (Somers et al., 2003; Olmos et al., 2009a). Kühe, die im Sommer Zugang zur Weide hatten, wiesen weniger Defekte der weissen Linie (64% vs. 84%), eine geringere Prävalenz von Dermatitis digitalis (22% vs. 1%) und eine geringere Wahrscheinlichkeit auf, subklinische Klauenläsionen am Ende des Sommers zu zeigen, verglichen mit den Tieren, die durchgehend im Stall gehalten wurden (Haufe et al., 2012). Als positive Faktoren der Weidehaltung wurden der weiche Boden angesehen, der es den Klauen ermöglichte, leicht einzusinken, ohne dabei abrasiv zu sein, sowie die weiche und hygienische Oberfläche (Olmos et al., 2009b; Chapinal et al., 2013). Kühe lagen deswegen auch länger auf der Weide als in einer Liegeboxe (Olmos et al., 2009a). Manche Untersuchende erkannten jedoch keinen positiven Effekt der Weidehaltung auf die Bewegung von Kühen (Chapinal et al., 2010c) oder stellten sogar einen negativen Einfluss auf die Klauengesundheit fest (Baird et al., 2009). So fanden Barker et al. (2009) ein höheres Risiko für Erkrankungen der weissen Linie, wenn Kühe tagsüber geweidet wurden und nachts im Stall waren, verglichen mit Tieren, die

rund um die Uhr im Stall gehalten wurden. Als Ursache wurde die Qualität der Treibwege hin zur Weide (Burow et al., 2014), das Herden-Management bei geweideten Kühen sowie die Länge der Strecken zwischen Weide und Melkstation diskutiert (Laven and Lawrence, 2006).

4.2.2. Bodenbeschaffenheit und Liegeflächen

Einen wichtigen Einfluss auf Lahmheiten hat die Bodenbeschaffenheit des Stalls sowie die Einrichtung und Beschaffenheit der Liegeflächen (Cook, 2003; van Gastelen et al., 2011). Es konnte gezeigt werden, dass Kühe einen weichen Untergrund in Form von Gummimatten zum Laufen und Stehen bevorzugten (Telezhenko et al., 2007) und dass die Druckbelastung unter den Klauen abhängig von der Bodenbeschaffenheit war (Telezhenko et al., 2008). Bei Haltung auf abrasiven Böden nahm die Kontaktfläche der Klaue zum Boden zu und somit wurde der mittlere Druck geringer. Der Abrieb führte jedoch auch dazu, dass die bei natürlicher Haltung am stärksten gewichttragenden Zonen, speziell die Klauenplatte (der Tragrand), weniger Gewicht trugen. Nach Cook (2003) war die Prävalenz von Lahmheiten in Laufställen mit Sand-Einstreu in den Liegeboxen ähnlich hoch wie bei Kühen in Anbindehaltung ohne Sandeinstreu (21.2% bzw. 21.7%). Hingegen war die Prävalenz der Lahmheiten bei Kühen in Laufstallhaltung ohne Sandeinstreu mit 33.7% deutlich höher als die von Kühen in Anbindehaltung mit Sandeinstreu (12.1%). Weiter konnte gezeigt werden, dass auf einem weichen, verformbaren Untergrund Sprunggelenksschäden weniger häufig und die Liegezeit länger waren als auf einer Schaumstoffmatratze (van Gastelen et al., 2011).

4.2.3. Saisonale Unterschiede

Die Prävalenz von Lahmheiten war im Frühling höher (19.3%) als im Herbst (16.2%) oder Winter (16.3%) (Rutherford et al. (2009)). Nach Clarkson et al. (1996) war die Prävalenz von Lahmheiten im Sommer geringer (18.6%) als im Winter (25.0%) war. In der zuerst genannten Studie von Rutherford et al. (2009) wurde auch der Einfluss von Haltung nach biologischen Richtlinien festgestellt, der mit einer niedrigeren Prävalenz von Lahmheit einherging.

4.2.4. Milchmenge

Milch wird auf Kosten anderer metabolischer Prozesse produziert; eine hohe Milchleistung konnte mit Lahmheiten und Klauenläsionen assoziiert werden (Enting

et al., 1997; Hultgren et al., 2004). Die Zusammenhänge sind allerdings komplex. Die Ergebnisse werden weitgehend so interpretiert, dass eine hohe Milchleistung das Risiko einer Klauenerkrankung erhöht und dass bei einer Klauenerkrankung die Milchleistung vorübergehend sinkt (Fourichon et al., 1999; Green et al., 2002). Warnick et al. (2001) stellten eine Reduktion der Milchleistung um 0.8 bis 1.5 kg pro Tag in der zweiten Woche, nach der die Lahmheit diagnostiziert worden war, fest. Ausserdem konnten die Autoren zeigen, dass der Verlust der Milchmenge umso grösser wurde, je schwerer die Erkrankung war und wenn die Tiere sich in der zweiten Laktation oder höher befanden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Rajala-Schultz et al. (1999), die sogar einen Rückgang der Milchleistung bereits 2 Wochen, bevor die Lahmheit festgestellt wurde, nachweisen konnten. Dieser hielt in der ersten und vierten Laktation signifikant bis 6 Wochen nach Diagnosestellung an. Im Gegensatz dazu wurde in einer anderen Untersuchung kein Zusammenhang zwischen einer hohen Milchleistung und dem vermehrten Auftreten von Lahmheiten oder Klauenerkrankungen gefunden (Aeberhard et al., 2001).

4.3. Klauenpflege

4.3.1. Allgemeines

Klauenpflege gilt als wichtige Massnahme zur Verbesserung der Klauengesundheit; sie sollte mindestens zweimal jährlich durchgeführt werden (Manske et al., 2002a; Somers et al., 2005). Sie soll nicht nur die Anzahl klinisch erkrankter Kühe senken, sondern auch die Dauer einer Erkrankung verkürzen (Manson and Leaver, 1989). Deswegen hat funktionelle Klauenpflege nicht nur einen therapeutischen, sondern auch einen prophylaktischen Wert (Manske et al., 2002a). Kühe zeigten nach Klauenpflege eine verlängerte Liegezeit (Chapinal et al., 2010a) und die Milchleistung war erhöht (Sogstad et al., 2007). Nach Fjeldaas et al. (2006) war die Prävalenz von Klauenläsionen aber nur im Anbindestall geringer, wenn Klauenpflege routinemässig durchgeführt wurde (im Vergleich zu nicht routinemässiger Klauenpflege), jedoch war die Prävalenz für Klauenläsionen in Laufställen, in denen routinemässig Klauenpflege durchgeführt wurde, erhöht.

Funktionelle Klauenpflege soll die „normale Form“ der Klaue wiederherstellen, indem durch Kürzen und Zurechtschneiden die Lastverteilung innerhalb einer Klaue sowie zwischen den Klauen einer Gliedmasse ausgeglichen wird (Toussaint Raven, 1989; Nuss and Lischer, 2014b).

4.3.2. Geschichte der Klauenpflege

Die heutzutage weltweit angewendete „funktionelle Klauenpflege“ geht auf Toussaint Raven zurück, der sich in den 1980er Jahren mit der Biomechanik der Klaue auseinandersetzte und daraus das 5-Punkte-System zur Bearbeitung der Klaue entwickelte (Toussaint Raven, 1989). Bei der im schweizerischen Raum angewandten, etwas modifizierten Klauenpflegemethode wird zuerst die Aussenklaue bearbeitet und anschliessend die Innenklaue, damit das „Zu-kurz-schneiden“ der Aussenklaue verhindert wird (Nuss and Lischer, 2014b).

4.3.3. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Klauenpflege

Da der Abrieb in Laufställen sehr hoch ist, wurde vorgeschlagen, bei der Klauenpflege nicht in erster Linie zu kürzen und eine möglichst grosse Fussungsfläche zu erzeugen, sondern die Maximalkräfte, die beim Laufen und Stehen auf die Klaue wirken, wieder vermehrt auf die stärksten Teile der Klauen (vor allem auf die Klauenplatte und deren Tragrand) umzuverteilen (van der Tol et al., 2004).

Ein weiteres Problem mit der Laufstallhaltung und den abrasiven Böden ist auch, dass die Sohlen schon sehr dünn sind und es durch zu starkes Kürzen und Flachschnitten der Sohlen zu Lahmheiten kommen kann.

Immer wieder gab es verschiedene Versuche, eine neue Technik zu etablieren und diese wissenschaftliche zu untermauern. Holzhauer (2006) verglich die Technik von Toussaint Raven mit einer modifizierten Technik. Es wurden die Klauen der Hintergliedmassen von 498 Kühen nach der Methode von Toussaint Raven (1989) und von 501 Kühen nach der von Holzhauer (2006) entwickelten Technik gepflegt. Bei dieser Technik wurden laterale und mediale Klaue nicht bis auf die gleiche Höhe angeglichen. Ein bis zu 5 mm höherer lateraler Ballen wurde als funktionell angesehen und 5 mm des Horns unterhalb des Tuberculum flexorium wurden entfernt. Anschliessend an die Klauenpflege sowie 30 und 90 Tage nach Klauenpflege wurden die Klauen auf Erkrankungen untersucht. Die Odds Ratio für Dermatitis digitalis war signifikant geringer bei der Holzhauer-Methode als bei der funktionellen Klauenpflege nach Toussaint Raven, für Sohlenblutung und Hyperplasie war sie geringer, aber nicht signifikant. Bei allen anderen Erkrankungen (Phlegmona interdigitalis, Sohlenblutung, eitrig hohle Wand, Dermatitis interdigitalis, Rusterholzsches Sohlengeschwür) war die Odds Ratio gleich und stieg mit der Zeit

an. Der Autor resümierte, dass es sinnvoll sei, die Klauenpflegemethode an die Haltung der Kühe anzupassen.

In einer in-vitro-Untersuchung (Zeiner et al. (2007)) wurde die Methode von Toussaint Raven mit zwei anderen Klauenpflegetechniken verglichen. Die Klauen wurden in den alternativen Techniken so beschnitten, dass zum einen lange und spitzwinklige Klauen und zum anderen steil gewinkelte Klauen entstanden, die nachfolgend auf eine Druckplatte bei definierter Kraft gedrückt wurden. Bei allen drei Klauenpflegemethoden konnten die Druckverteilungsmuster durch Klauenpflege verbessert werden. Die beiden letztgenannten Methoden schnitten teilweise besser bei der Reduktion von Maximaldrücken und der Vergrößerung der Kontaktfläche ab. Es wurde nachgewiesen, dass die Reduktion der Maximal- und Durchschnittsdrücke vor allem durch das Flatschleifen der Sohlenfläche entstand.

Das Anbringen einer Hohlkehlung wurde von Toussaint Raven (1989) theoretisch begründet. Er beschrieb es als leichte Abschrägung des axialen Teils der Sohlenfläche. Aufgrund einer post-mortem-Untersuchung wurde empfohlen, die Hohlkehlung über die gesamte Sohlenfläche auszuführen, um eine korrekte anatomische Form und Funktionalität herzustellen (Nuss and Paulus, 2006). Andere Untersuchungen konnten keinen positiven Effekt der Ausprägung der Hohlkehlung nachweisen; so fanden Ouweltjes et al. (2009) keinen Unterschied hinsichtlich der Klauengesundheit, den Klauenmassen, dem Gang und der Druckverteilung unter den Klauen zwischen der Pflegemethode mit einer geringen Hohlkehlung (Toussaint Raven, 1989) und einer Hohlkehlung über die gesamte Sohlenfläche.

Beim Messen der Sohlendicke, nach dem Ausgleichen der lateralen an die mediale Klaue, wurde festgestellt, dass die Sohlendicke der Aussenklaue zum Teil zu dünn war, wenn man streng die Regel der funktionellen Klauenpflege des Angleichens der Aussen- an die Innenklaue befolgte (Nuss and Paulus, 2006). So meinten die Autoren, dass die Sohle der Innenklaue mindestens 3mm dicker belassen werden sollte, da sonst bei Anpassen der Aussenklaue die Gefahr bestand, deren Sohle zu dünn zu schneiden.

Das Gangbild und der Bewegungsablauf von Färsen, insbesondere das Auffassen zuerst mit der Aussenklaue wurde durch Klauenpflege nicht geändert (Meyer et al., 2007).

Bei laktierenden Holstein Kühen konnte nach Klauenpflege eine deutliche Druckentlastung der (vor der Klauenpflege) stärker beanspruchten Aussenklaue der

Hinterbeine nachgewiesen werden (Kehler and Gerwing, 2004). Durch das Abtragen der Sohle der Aussenklauen wurde die Druckbelastung v.a. des pulvinalen Sektors der Aussenklaue auf den apikalen und pulvinalen Sektor der Innenklaue verschoben. Die Autoren gingen davon aus, dass dies bei normaler Klauenhornbeschaffenheit keine Überlastung der Innenklaue, sondern einen grossen Vorteil für die Aussenklaue darstellte. Carvalho et al. (2005) verglichen Kühe mit ungepflegten Klauen mit Klauen von Kühen nach Klauenpflege. Auch in dieser Untersuchung verschoben sich nach der Klauenpflege die Maximaldrücke vom Bereich der lateralen Sohle und des Ballens in Richtung mediale Sohle; diese Autoren diskutierten jedoch eine möglicherweise daraus resultierende Überlastung der Innenklaue.

4.4. Klauenmasse

Zu der von Toussaint Raven (1989) empfohlenen Länge der Dorsalwand der Innenklaue der Hinterbeine von 75 mm plus 5 mm Sohlendicke wurden immer wieder neue Empfehlungen gegeben. Sohrt (1999) führte Untersuchungen an 468 Hinterfüssen durch. An tiefgefrorenen Sagittalschnitten wurden die inneren und äusseren anatomischen Strukturen vermessen und miteinander verglichen, damit eine optimale Dorsalwandlänge für die Klauenpflege angegeben werden konnte. Die Länge der Dorsalwand des Klauenbeins und der Lederhaut unterschied sich zwischen Aussen- und Innenklauen und auch bei Reheveränderungen nicht. Die äussere optimale Dorsalwandlänge erwies sich als stark alters- und gewichtsabhängig, so dass folgende Formel zur optimalen Dorsalwandlänge (bei geradem Kürzen der Dorsalwand) erstellt wurde:

Länge der Dorsalwand (cm)

$$= 5.43 + 0.0020 * \text{Lebendgewicht}(kg) + 0.0677 * \text{Alter}(\text{Jahre})$$

Bei der Erstellung von kombinierten Klassen in Abhängigkeit von Alter und Gewicht der Tiere ergaben sich für die optimale Dorsalwandlänge folgende Klassenwerte (Tab. 1):

Weiterhin fand Sohrt (1999), dass bei korrekt eingehaltener Länge der Dorsalwand bei der Mehrzahl der Tiere die «Sohlendicke» direkt an der Schnittkante abgelesen werden konnte.

Tab. 1 Werte für die optimale Dorsalwandlänge nach Sohr (1999) (Angaben in cm), Dorsalwand wurde an der Klauenspitze senkrecht zum Boden gekürzt (gerades Kürzen) und dabei eine Mindestspitzendicke von 7mm zugrunde gelegt.

Alter Körpergewicht	2 – 2.5 Jahre	> 2.5 – 3. 25 Jahre	> 3.25 – 4 Jahre	> 4 Jahre
bis 450 kg	7.0	7.1	7.1	7.2
450 – 530 kg	7.3	7.3	7.3	7.5
530 – 600 kg	7.2	7.3	7.6	7.6
>600 kg	7.3	7.3	7.8	7.8

Tsuka et al. (2014) untersuchten die Klauen der Hintergliedmassen von 200 Kühen (laktierende Holstein Friesian Kühe, Alter: 23 bis 143 Monate, 123 Kühe aus Anbindehaltung, 77 Kühe aus Laufstallhaltung) mit der Computertomographie. Sie massen die Sohlendicke an 3 verschiedenen Punkten sowie den relativen Rotationswinkel zwischen Klauenbein und Sohle. Bei einer Sohlendicke von 5 mm ergaben sich Dorsalwandlängen von 72.1 und 72.7 mm für Innen- und Aussenklauen. Sie hielten 73 mm Dorsalwandlänge für ein kritisches Mass, bei dem die Gefahr bestand, die Sohlen zu dünn zu scheiden. Die Autoren hielten 7 mm Sohlendicke an der Sohlenspitze für ein besseres Mass. Bei dieser Dicke betrug die Länge der Dorsalwand 79.8 und 78.4 mm für die Innen- und Aussenklauen.

Bei CT-gestützten Untersuchungen an tiefgefrorenen Klauen wurde die Dorsalwandlängen an der Innen- und Aussenseite der Klauenwand gemessen (Archer et al., 2015). Bei einer minimalen Sohlendicke von 5 mm, einem Dorsalwandwinkel von 50 Grad und einer Wanddicke von 8 mm war ein Kürzen der Dorsalwand auf 75 mm zu kurz für 95% dieser Klauen. Die Autoren fanden, dass das Kürzen der Dorsalwand bis auf eine Länge von 85 mm inklusive der Sohlendicke adäquat für >4 Jahre alte Kühe war, jedoch immer noch zu kurz für 34% der Klauen. Dies führten sie auf grosse interindividuelle Unterschiede sowie die Zunahme der Dorsalwandlänge mit dem Alter zurück. Letztlich kamen die Autoren zu der Empfehlung, die Dorsalwandlänge generell auf 90 mm zu kürzen, bzw. auf 85 mm, wenn man eine Stufe liess (Archer et al., 2015).

Bell (2015) hob hervor, dass der proximale Orientierungspunkt für die Dorsalwandlänge nach Toussaint Raven dort liegt, wo sich das beginnende Horn mit

dem Finger nicht mehr eindrücken lässt. Er überlegte, dass dieser Punkt ein paar Millimeter weiter distal lag als der Punkt, den Archer et al. (2015) bei ihren Messungen verwendet hatten, weswegen deren Dorsalwandlänge relativ gross ausfiel. Bei der Erhebung von Klauenmassen wurde ein Unterschied zwischen der Verwendung von manuellen und digitalen Messinstrumenten festgestellt (Laven et al. (2015)); die Unterschiede waren teilweise erheblich.

Der Winkel der Dorsalwand beträgt bei normalen Klauen ungefähr 50 Grad (Lischer, 2014). Bei auf eine standardisierte Sohlendicke (5 mm an der Spitze und 8 mm im Ballenbereich) gepflegten Klauen betrug der Dorsalwandwinkel für die Hintergliedmassen 50.7 und 51.4 Grad für die Innen- und Aussenklauen bei Kühen, die jünger als 36 Monate waren, und 49.1 und 48.2 Grad (Innen- und Aussenklauen) für Kühe, die älter als 36 Monate waren (Nuss and Paulus, 2006). Nach Angleichen der lateralen Klauen an die Innenklauen wurde der Dorsalwandwinkel dort spitzer (Nuss and Paulus, 2006). Die Klauen der Vordergliedmassen von Kühen zeigten bei standardisierter Sohlendicke stumpfere Winkel als an den Hinterbeinen (Kühe: 52.4 Grad lateral und 51.9 Grad medial; Färsen: 53.1 Grad lateral und 51.5 Grad medial) (Sigmund, 2009).

Nach Angleichen des Sohlenniveaus der Aussenklaue an das der Innenklaue bei Präparaten mit standardisierter Sohlendicke war der Dorsalwandwinkel an den Aussenklauen bei Hintergliedmassen von Kühen verringert (Paulus, 2004). Bei In-vivo-Messungen konnten Martig et al. (1983) nach Klauenpflege generell einen steileren Dorsalwandwinkel feststellen; hingegen fanden Distl and Schmid (1993) einen signifikant verringerten Dorsalwandwinkel; Russke (2001) stellte keinen signifikanten Unterschied zwischen vor und nach Klauenpflege fest. In der Untersuchung von Martig et al. (1983) wurden die Hintergliedmassen vor und nach Klauenpflege vermessen, sowohl bei Tieren mit gesunden Klauen als auch bei Tieren mit Klauenläsionen. Bei „Normklauen“ ergab sich ein Dorsalwandwinkel der lateralen Klauen vor Klauenpflege von 43.5 und der medialen Klauen von 44.9 Grad; nach Klauenpflege betrugen die Dorsalwandwinkel 48.4 für die lateralen Klauen und 49.8 Grad für die medialen Klauen. Die lateralen Klauen von Kühen aus der Gruppe mit Klauengeschwüren wiesen allgemein einen spitzeren Winkel auf als diejenigen aus der Gruppe mit „Normklauen“. Zwischen den medialen Klauen bestand kein Unterschied. Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass spitzwinkliger Klauen anfälliger für Klauengeschwüre sind als stumpfwinkliger (Martig et al., 1983). Bei In-

vivo-Untersuchungen von Färsen wurde kein Unterschied zwischen den Dorsalwandwinkeln von Vorder- und Hinterbeinen festgestellt (Vermunt and Greenough, 1996). In der genannten Untersuchung wurden die Klauen jähriger Färsen im Abstand von 4 Wochen bis zur Abkalbung im Alter von 24 bis 26 Monaten vermessen. Dabei wurden die Tiere in zwei verschiedenen Gruppen gehalten, eine im Stall auf Betonspaltenböden, die andere draussen in einem strohlosen Stall. Über die Zeit verkleinerte sich der Dorsalwandwinkel. Am Ende der Untersuchung wiesen Tiere, die draussen gehalten worden waren, signifikant kleinere Dorsalwandwinkel und längere Dorsalwände an den Klauen der Beckengliedmassen auf ($p < 0.05$) (Vermunt and Greenough, 1996). Phillips et al. (1996) fanden, ähnlich wie Sigmund (2009), etwas steilere Dorsalwandwinkel an den Klauen der Vordergliedmassen (51.2° vorne links, 51.1° vorne rechts) als an denen der Hintergliedmassen (50.3° für rechte und linke Gliedmasse). Bei Kälbern wurde ebenfalls ein steilerer Winkel an den Vordergliedmassen als an den Hintergliedmassen festgestellt (Schwarzmann et al., 2007). Entgegengesetzte Ergebnisse wurden bei Distl and Schmid (1993) gefunden, bei denen die Klauen der Hintergliedmassen steiler als die der Vordergliedmassen gestellt waren. Diese Autoren vermessen allerdings an den Vordergliedmassen die mediale Klaue und an den Hintergliedmassen die laterale Klaue. Die Wiederholbarkeit zwischen Färsen und Kühen sowie zwischen den einzelnen Laktationsnummern lag bei der Erhebung des Dorsalwandwinkels im mittleren bis hohen Bereich (zwischen $+0.27$ und $+0.76$).

Die «Trachten-» oder Ballenlänge wurde nicht in allen Publikationen berücksichtigt, oft wurde lediglich die Ballenhöhe gemessen. In der Untersuchung von Paulus (2004), die auf einer definierten Sohlendicke beruhte, waren die Ballen der lateralen Klauen der Hinterbeine länger als die der medialen. Für Altkühe war dieser Unterschied signifikant (mediale Klaue 33.6 mm, laterale Klaue 37.0 mm). Das Angleichen der lateralen Klaue an die Mediale verkürzte die Ballenlänge, dies war bei Jungkühen (36.2 mm vor- und 30.0 mm nach Klauenpflege) signifikant. Ausserdem konnte eine negative Korrelation zwischen dem Alter und der Ballenlänge nachgewiesen werden (Nuss and Paulus, 2006).

Nach Distl and Schmid (1993) waren die «Trachtenwandlängen» an der medialen Klaue der Vordergliedmassen stets länger als an den lateralen Klauen der Hintergliedmassen. Durch funktionelle Klauenpflege wurde die «Trachtenwandlänge» sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmassen signifikant verringert. Die

Wiederholbarkeit der Messung betrug zwischen +0.36 und +0.76 und befand sich somit im mittleren bis hohen Bereich (Distl and Schmid, 1993). Bei Vermessung der Ballenlänge an den Vordergliedmassen bei einer standardisierten Sohlendicke waren die Ballen der lateralen Klauen stets statistisch signifikant länger als die Ballen der medialen Klauen und um fast einen Zentimeter länger als die der Hintergliedmassen (Sigmund, 2009). Durch Klauenpflege wurde die Ballenlänge an den Vorder- (-0.41 cm) und Hintergliedmassen (-0.30 cm) statistisch signifikant verringert (Russke, 2001). Während der Entwicklung vom Kalb zur Kuh nahm die «Trachtenlänge» bis zum ca. 250. Lebenstag stetig zu, stagnierte dann etwas und stieg später bis zum 24. Lebensmonat weiter an. Dabei waren die Werte für die Vordergliedmassen grösser als die für die Hintergliedmassen (Russke, 2001).

4.5. Druck und Kraftverteilungsmessung

4.5.1. Messung der Klauenbelastung an stehenden Rindern

Die ersten Untersuchungen zur Verteilung der Kräfte unter den Klauen von Kühen führte Toussaint Raven (1971) durch. Er benutzte zwei nebeneinander gestellte Personenwaagen, um das auf der Innen- und Aussenklaue der Hintergliedmassen lastende Gewicht von Kühen getrennt zu messen. Bei kuhhessig stehenden Tieren mit einer hohen Aussenklaue trugen die Aussenklauen 60-70% des Gesamtgewichts einer Gliedmasse, die Innenklauen 30-40%. Er interpretierte die Mehrbelastung der Aussenklaue als Überbelastung, aufgrund derer es zur Stellungsanomalie kam.

Eine entsprechende Messung, jedoch mit Hilfe zweier Kraftmessplatten, führten Ossent et al. (1987) durch. Sie massen die Kraft unter den Klauen trächtiger Färsen einen Monat vor und zwei Monate nach dem Abkalben. Drei Ringe an den Ecken der einzelnen Kraftmessplatten mit eingebauten Dehnungsmessstreifen massen die Kraft jedes einzelnen Messpunktes simultan, die anschliessend durch einen Verstärker verarbeitet wurde, sodass die Kraft jedes einzelnen Ringes als auch die Gesamtkraft der Klaue ermittelt werden konnte. Zunächst wurden wiederholte Messungen durchgeführt und es fiel auf, dass die Belastungs-Schwankungen zwischen den Messungen und innerhalb einer Messung gross waren.

Die Kühe, die nach der Geburt ein Sohlengeschwür entwickelten, zeigten schon vor der Geburt eine Mehrbelastung der lateralen Klaue. Insgesamt konnte eine Kraftumverteilung von der medialen zur lateralen Klaue über den Messzeitraum verzeichnet werden (Ossent et al., 1987).

Bei den bisher genannten Messungen konnten noch keine genaueren Angaben über die Druck- und Kraftbelastung innerhalb einer Klaue gemacht werden. Dies gelang erstmals Mair et al. (1988), die eine 14 x 28 cm grosse Druckmessplatte mit 4 kapazitiven Sensoren pro cm^2 verwendeten. Während einer halben Minute wurden 33 Druckbilder generiert. Die Sensoren arbeiteten nach dem Prinzip eines Plattenkondensators. Eine zwischen zwei Platten befindliche verformbare Matrix (Dielektrikum) wurde durch die Belastung der Rinderklaue verformt und der Abstand der beiden Platten verkleinerte sich. Die Kapazität des Kondensators und der Stromfluss (Amplitude) veränderten sich. Ein an die Messplatte angeschlossener Signalprozessor wandelte die analogen Messsignale in digitale Werte um. Weiter war noch eine Matrixkontroll-Einheit angeschlossen, die die Messsensoren der Platte auswählte. Die zentrale Kontrolleinheit prüfte, speicherte und dokumentierte Testprozesse und Resultate. Das ausgelieferte Druckbild war farbcodiert und jede Farbe entsprach einem voreingestellten Druckbereich. Es wurden Fläche, Gesamtkraft bzw. -gewicht und Maximalgewicht bestimmt. Mit Hilfe ausgewählter Koordinaten konnte man auch die Fläche oder Kräfte zwischen lateraler und medialer Klaue und zwischen den Zonen der Einzelklaue vergleichen. Bei dem eigentlichen Versuch wurden die Vorderbeine von vier Holstein-Friesian-Rindern nach Klauenpflege gemessen. Die gemessene Fläche der Aussen- und Innenklauen einer Vordergliedmasse zusammengekommen schwankte zwischen 35 und 46 cm^2 , das relative Gewicht zwischen 12 und 18%. Der Durchschnittliche Druck betrug 21 N/cm^2 . Der Maximaldruck zeigte eine grosse Variation (73 bis 127 N/cm^2), aber er befand sich stets in der Ballenregion. Weiter konnte festgestellt werden, dass das Gewicht auf den äusseren Rand der Klaue verteilt war, hingegen war die Sohlenfläche unbelastet. Die Autoren hielten die Messplatte für ein verlässliches und kompaktes System (Mair et al., 1988). Allerdings bestand ein hoher Verschleiss aufgrund der hohen Belastung der Sensoren. Die Autoren ermittelten aufgrund von geringen Belastungsschwankungen aus allen Druckbildern eines Messvorgangs ein „Durchschnittsbild“.

Ein Vergleich der Druckverteilung an den Vordergliedmassen zwischen Erst- und Zweitlaktierenden führten Distl et al. (1990) durch. Die verwendete 16 x 25 cm grosse Messplattform beinhaltete kapazitative Druckmessfühler mit einer Auflösung von 0.25 cm^2 . Die aufgearbeiteten Daten lieferten eine Aufteilung der Klaue in vier Hauptsektoren, vier Zentralzonen sowie zwei Axialsektoren. Während 33 Sekunden

entstanden 33 Druckverteilungsbilder, die anschliessend zu einem Mittelwertbild zusammengefasst wurden, um die Gewichtsverlagerungen während der Messzeit auszugleichen. Die Fussungsfläche beider Klauen der rechten Vordergliedmasse war bei den Zweitlaktierenden (59.2 cm^2) grösser als bei den Erstlaktierenden (56.9 cm^2). Die zu registrierende Kraft verstärkte sich ebenfalls von den Erst- (1071 N) zu den Zweitlaktierenden (1140 N). Bei den Erstlaktierenden wiesen stets die Innenklauen höhere mittlere Drücke auf als die Aussenklauen. Bei der Gruppe der Zweitlaktierenden war dies umgekehrt; dort wiesen die Aussenklauen jeweils die höheren mittleren Drücke auf als die Innenklauen, ausser an den letzten zwei Messtagen.

Eine Umverteilung der Gewichts- und Flächenverhältnisse von der medialen zur lateralen Klaue mit Zunahme des Alters konnten auch Alsleben et al. (2003) feststellen. Sie massen die Druckverteilung im vier- bis siebenwöchigem Abstand unter der rechten Vorder- und der linken Hintergliedmasse bei Rindern vom zweiten bis zum 24. Lebensmonat. Es erfolgten mindestens 3 Messungen pro Gliedmasse. Die $23 \times 40 \text{ cm}$ grosse Messplatte war mit vier matrixförmig angeordneten kapazitiven Sensoren pro cm^2 ausgestattet und mass mit einer Frequenz von 50 Hz (insgesamt 104 Bilder pro Messung). Die Daten der entstandenen Druckbilder wurden gemittelt. Die Belastung der Klauen an den Vordergliedmassen war stets grösser als an den Hintergliedmassen. Im Alter von zwei Monaten war die Innenklaue sowohl an den Vorderbeinen als auch an den Hinterbeinen die stärker belastete. Mit dem Wachstum glich sich die Gewichtsbelastung an der Vordergliedmasse an; an der Hintergliedmasse nahm die Aussenklaue zunehmend Gewichtslast auf und mit 24 Monaten trug sie das meiste Gewicht (54%). Mit der Fussungsfläche verhielt es sich ähnlich: Während im Alter von zwei Monaten die Innenklauen eine grössere Fläche aufwiesen (59% Vorder-, 64% Hintergliedmasse) war im Alter von 24 Monaten an den lateralen Klauen sowohl der Hinter- als auch der Vorderbeine die grössere Fläche vorhanden (54% Vorder-, 55% Hintergliedmasse).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Huth et al. (2004), die die Druckbelastung bei drei bis fünf Monate alten Kälbern massen. Sie erfassten neben dem Körpergewicht auch Körpermasse, Klauenmasse und Klauenhornhärte. Es wurden Kälber der Rassen Deutsche Holsteins, Deutsches Braunvieh und Angler Rotvieh untersucht. Die $35 \times 60 \text{ cm}$ grosse Druckmessplatte besass eine räumliche Auflösung von 0.25 cm^2 (kapazitative Sensoren) und mass mit einer zeitlichen Auflösung von 50 Hz. Die

pro Messung erhaltenen 104 Druckbilder wurden zur weiteren Auswertung gemittelt. Die Klauen wurden nach Sektoren und Zonen aufgeteilt, wie von Mair et al. (1988) vorgeschlagen. Bei den Kälbern trugen die Vordergliedmassen die grösste Gewichtslast (ca. 54%). An der rechten Vordergliedmasse wurde das Gewicht von mehr als 60% von der medialen Klaue getragen. Bei der Einteilung der Belastungsfläche in vier Sektoren waren die hinteren Abschnitte am meisten belastet. Auch hinsichtlich der Fläche war die mediale Klaue stets grösser als die laterale. Die mittlere Druckbelastung unterschied sich signifikant zwischen den Rassen (rechtes Vorderbein: Deutsches Braunvieh: 25.6 N/cm²; Deutsche Holsteins: 23.4 N/cm²; Angler Rotvieh: 20.8 N/cm²) und war analog zur Gewichtsbelastung im hinteren medialen Sektor am grössten. An der linken Hintergliedmasse lastete das Gewicht, ebenso wie an der Vordergliedmasse, stärker auf der medialen Klaue (z.B. 68.7% Deutsches Braunvieh). Wiederum lag die Hauptlast auf den hinteren Sektoren. Die Auftrittsflächen waren an den Hintergliedmassen signifikant geringer als an den Vordergliedmassen.

Mit dem Vergleich der Druck- und Kraftbelastung vor und nach Klauenpflege befassten sich van der Tol et al. (2002). Sie benutzten eine 48.8 x 32.5 cm grosse Druckmessplatte, die mit 4096 (entspricht 2.6 Sensoren pro cm²) resistiven Sensoren ausgestattet war. Sie massen die Bodenreaktionskraft unter den Klauen von acht ausgewachsenen Holstein-Friesian-Kühen drei bis fünf Wochen nach funktioneller Klauenpflege. Jede Gliedmasse wurde einzeln gemessen und es erfolgten jeweils fünf Wiederholungsmessungen. Eine Messung dauerte 1.6 Sekunden, wobei 500 Einzelmessungen registriert wurden. Anschliessend wurden die 500 Messwerte jedes Sensors gemittelt und ein farb-codiertes Bild herausgegeben (linear verteilte Farb-Codes). Mit Hilfe einer übergelegten digitalen Schablone wurden die Klauen in sechs verschiedene Zonen eingeteilt. So konnte die genaue Lokalisation von Maximaldrücken erfolgen.

An den Vordergliedmassen wurden Maximalkräfte öfter unter den Innenklauen, an den Hintergliedmassen öfter an den Aussenklauen gemessen. Sowohl an den Aussen- als auch an den Innenklauen wurden die höchsten Drücke unter der Sohlenfläche und nicht unter dem Tragerand gemessen. An den Vordergliedmassen lagen die Maximaldrücke an der Sohlen-Ballengrenze, an den Hintergliedmassen mehr apikal. Die Lokalisation des Maximaldrucks war für Innen- und Aussenklauen gleich. Die sechs verschiedenen Zonen der Klauen wurden nicht

zufällig verteilt belastet. An den Aussenklauen der Hintergliedmassen wies die Ballenregion sowie die Zone lateral des Ballens die höchsten Drücke auf, an den Aussenklauen der Vordergliedmassen war es nur die Ballenregion. An den Innenklauen der Hintergliedmassen wies die apikale Sohlenzone die höchsten Drücke auf; an den Innenklauen der Vordergliedmassen war es die Ballenregion. Die gemessenen Maximaldrücke lagen zwischen 17.0 und 54.0 N/cm² (van der Tol et al., 2002) .

Zur Untersuchung der Auswirkung einer funktionellen Klauenpflege auf die Druckverteilung unter den Hintergliedmassen wurden 21 Kühe aus einem Laufstall vor und nach Klauenpflege auf einer druckmessenden Plattform gemessen (Kehler and Gerwing, 2004). Die kapazitiven Sensoren (4 Sensoren pro cm²) der 20 x 35 cm grossen Druckmessplatte massen die Druckverteilung unter einer Hintergliedmasse. Es wurde einmal vor und 13 Mal nach Klauenpflege über einen Zeitraum von sechs Monaten gemessen. Die Kühe erhielten mindestens sechs Monate vor dem Versuch keine Klauenpflege. Zur Auswertung wurden die Klauen je in einen apikalen und einen pulvinalen Sektor eingeteilt. Vor Klauenpflege trugen die Aussenklauen im Mittel 68% und die Innenklauen 32% der Gewichtslast der Hintergliedmasse. Nach Klauenpflege, die bewusst die Aussenklaue durch vermehrtes Abtragen von Horn entlastete (Kehler, persönliche Mitteilung Karl Nuss, Leipzig, Januar 2015), war die Lastverteilung ausgeglichen. Durch diese entlastende Klauenpflege wurde der pulvinale Bereich der Aussenklaue signifikant entlastet. Die Gewichtsbelastung des apikalen Bereichs der Aussenklaue blieb vor und nach Klauenpflege gleich. Die Mehrbelastung der Innenklauen durch Klauenpflege verteilte sich auf den pulvinalen Bereich (+9%) und den apikalen Bereich (+6%). Auch der Schwerpunkt änderte sich durch Klauenpflege von der Aussenklaue etwas apikal der typischen Lokalisation des Sohlengeschwürs hin zur Spitze der Klaue und nach medial Richtung Interdigitalspalt. Nach 26 Wochen gab es jedoch keinen Unterschied mehr zu den Belastungsverhältnissen vor Klauenpflege. Bei ungefähr der Hälfte der Tiere wurden bereits nach 4 Monaten gleiche Verhältnisse wie vor der Klauenpflege gefunden (Kehler and Gerwing, 2004).

4.5.2. Messung der Klauenbelastung an gehenden Rindern

Bei sechs Kälbern wurde die Kraftverteilung im Gehen über einen Zeitraum von sechs Monaten untersucht (Scott, 1988). Die Kälber wogen zwischen 50 und 230 kg.

Der Autor verwendete ein kombiniertes Messsystem aus einer Kistler-Kraftmessplatte und einem Pedobaroskop, welches mit Hilfe von Streulicht den Druck mass. Die Kraft-Zeit-Kurven zeigten an den Vordergliedmassen einen einzigen Gipfel, ungefähr bei der Hälfte der Standphase. Die Kraft-Zeit-Kurve für die Hintergliedmassen verlief hingegen bimodal mit einem höheren Gipfel nach einem Viertel der Standphase und einem kleineren zweiten Gipfel nach ungefähr Dreiviertel der Standphase. In einer neueren Untersuchung von Nuss et al. (2015), in der Jungrinder und Kühe über ein mit Kraftaufnehmern versehenem Laufband liefen, wurden sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmassen ein zweigipfliger Verlauf der Kraft-Zeit-Kurven beobachtet. Ein erster Gipfel wurde kurz nach dem Auffussen und ein zweiter Gipfel wurde in der Abdrückphase registriert. Beiden Studien gemeinsam war, dass die Vordergliedmassen mehr Last als die Hintergliedmassen trugen (Scott, 1988; Nuss et al., 2015). In der Untersuchung von Scott (1988) gab es keine signifikanten Unterschiede bei den Kontaktflächen und den Drücken zwischen den Vorder- und Hintergliedmassen. Der gemessene Druck schien fast unabhängig vom Körpergewicht zu sein, weil die Kontaktfläche zunahm, möglicherweise infolge des weichen Ballens oder wenn die Sohle vermehrt Bodenkontakt bekam. Ein Nachteil des Messsystems war, dass die Fläche des Pedobaroskops nur 12 x 15 cm gross war und somit immer nur eine Klaue gemessen werden konnte. Hingegen konnten bei der Untersuchung von Nuss et al. (2015) alle vier Gliedmassen simultan gemessen werden. Dadurch konnten die Bodenreaktionskräfte, die Schrittlängen und die zeitlichen Variablen der Stütz- und Hangbeinphasen für alle Gliedmassen gleichzeitig ermittelt werden.

Die Druck- und Kraftverteilung von neun laktierenden Holstein-Friesian-Kühen wurde ermittelt, während die Tiere über eine Kistler-Kraftmessplatte kombiniert mit einer footscan-Druckmessplatte, liefen (van der Tol et al., 2003). Ähnlich wie bei Scott (1988) sahen die Autoren eine unimodale Kraftkurve an den Vordergliedmassen und eine bimodale Kurve an den Hintergliedmassen mit einem etwas höherem ersten Gipfel (van der Tol et al., 2003). Erstmals konnten die Drucklokalisationen innerhalb einer Klaue genauer bestimmt werden. An den Vordergliedmassen wurde beim Aufsetzen der Ballen der lateralen Klaue mehr belastet als der der medialen. Nach dem Aufsetzen wurden beide Klauen annähernd gleich belastet, v.a. im Ballen- und Wandhornbereich. Von der Mitte der Standphase bis zum maximalen Vorschub vom Boden wurde die Last mehr zu den medialen

Klauen verschoben. Beim Abdrücken wurden beide Klauen gleichmässig an den apikalen Teilen der Wand und Sohle belastet. An den Hintergliedmassen waren die Kräfte beim Auftreffen auf den Boden vor allem auf die Aussenseiten der lateralen Klauen verteilt (>95%). Vom maximalem Bremsen bis zum maximalen Vorschub wurden die Kräfte etwas zu den medialen Klauen hin verlagert, jedoch verblieb der grösste Teil der Kraft auf den Aussenklauen, und dort auf der Sohle und dem Ballen. Beim Abstossen waren die Kräfte mehr oder weniger gleich zwischen medialer und lateraler Klaue, auf den vorderen Teilen der Wand und der Sohle, verteilt. Die Druckverteilung war stark von dem gemessenen Zeitpunkt abhängig. Zwischen den Messzeitpunkten «Auffussen», «maximales Bremsen», «mittlere Standphase» und «maximaler Vorschub» betrug der durchschnittliche Druck 50 N/cm² an den Hinter- und 60 N/cm² an den Vordergliedmassen. Beim Abstossen erhöhte sich der durchschnittliche Druck auf 80-85 N/cm² für beide Gliedmassenpaare. Die Drücke innerhalb der Klauen waren ungleich verteilt und so waren die Maximaldrücke teilweise zwei- bis dreifach so hoch wie durchschnittlichen Drücke (z.B. beim Abstossen erhöhten sich die Maximaldrücke auf 180 bis 200 N/cm²). Da beim Gehen die Kraftverteilung noch ungleicher als beim Stehen verteilt schien, meinten die Autoren, dass vor allem die Hintergliedmassen teilweise extrem hohen Kräften und Drücken ausgesetzt waren, die sie empfänglich für Klauenerkrankungen machten (van der Tol et al., 2003).

In einer kinematografischen Studie von Meyer et al. (2007) liefen 18 Färsen über ein Laufband, welches die Bodenreaktionskräfte an Schulter- und Beckengliedmassen messen konnte. Gleichzeitig wurden die Gliedmassen an mehreren Positionen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt. An den Vordergliedmassen fusste am häufigsten die laterale Klaue vor der medialen Klaue auf (83%). Nach Klauenpflege erhöhte sich der Erstkontakt durch die lateralen Klauen auf 92%. An den Hintergliedmassen fussten die lateralen Klauen ebenfalls regelmässig vor den medialen Klauen auf (100% vor Klauenpflege, 97% nach Klauenpflege). Vor Klauenpflege wurde der Erstkontakt mit dem Boden zu 47% vom Ballen und zu 47% von der abaxialen Wand an der lateralen Klaue der Vordergliedmassen hergestellt. Nach Klauenpflege änderte sich dieses Verhältnis zu 64% (Ballen) und 36% (abaxiale Wand). An den Hintergliedmassen wurde der Erstkontakt durch den Ballen in 50% und der abaxialen Wand in 44% der lateralen Klauen hergestellt. Nach Klauenpflege wurden an der lateralen Klaue der Ballen zu

78% und die abaxiale Wand zu 22% zuerst belastet. Mit Hilfe der Bilder der Hochgeschwindigkeitskamera konnten viele Gangcharakteristika beobachtet werden. Unter anderem wurde deutlich, dass der „Ballen-zuerst“-Kontakt der lateralen Klaue möglicherweise mit der Überlastung auf einer harten Oberfläche und nachfolgend mit Klauenerkrankungen zusammenhängen könnte (Meyer et al., 2007).

In einem gleich aufgebauten Versuch wurden bei 12 laktierenden Kühen gleiche Gangcharakteristika wie bei den Färsen gefunden (Schmid et al., 2009). Ein Unterschied im Gangmuster zwischen Färsen und Kühen war die Schrittweite, die bei laktierenden Kühen im Gegensatz zu den Färsen an den Hintergliedmassen grösser war als bei den Vordergliedmassen. Dies sollte mit der Grösse des Euters zusammenhängen und zu veränderter Bodenreaktionskraft beim Auftreten führen (Schmid et al., 2009). In der Untersuchung von Nuss et al. (2015) zeigten Kühe eine grössere Doppelschrittlänge als Jungrinder. Ausserdem hatten bei den Kühen die Vordergliedmassen eine relativ längere Stützbeinphase als die Hintergliedmassen, welches sich bei den Jungrindern nicht unterschied. Jungrinder liefen mit einer höheren Geschwindigkeit als Kühe. Insgesamt zeigten in der genannten Untersuchung lahmheitsfreie Jungrinder und Kühe einen sehr symmetrischen Gang mit wenig intraindividuellen Unterschieden (Nuss et al., 2015).

4.5.3. Belastungsmessungen in der Lahmheitsdiagnostik

In Zeiten der Industrialisierung der Milchviehwirtschaft steht den Landwirten und deren Angestellten immer weniger Zeit für die Beobachtung ihrer Tiere und zur Gangbeurteilung zur Verfügung. Auf Grund dessen werden immer häufiger automatische Systeme zur Lahmheitserkennung eingesetzt. Neben Pedobarometern und automatisierten Videoanalysen von Gangbildern werden auch öfters, wie in den nachfolgenden Abschnitten näher beschrieben, Druck- bzw. Kraftmessplatten verwendet.

Weil lahme Kühe ihr erkranktes Bein weniger stark und weniger lange als ihr gesundes belasten (Rushen et al., 2007; Chapinal et al., 2010b), wurde die Belastung der vier Gliedmassen simultan im Stehen gemessen, z.B. beim Melken (Pastell et al., 2006; Kujala et al., 2008). Ein weiterer Ansatz bestand darin, die Schrittlänge und die dynamischen Kräfte zu analysieren, während Kühe über ein automatisch messendes System liefen (Rajkondawar et al., 2002a; Rajkondawar et al., 2002b; Pastell et al., 2008b).

Einfache Kraftsensoren, die die Bodenreaktionskraft in einer Achse massen, wurden in den Versuchen von Pastell et al. (2006); Kujala et al. (2008); Chapinal et al. (2010b) und Neveux et al. (2006) verwendet. Unter den Messvorrichtungen befanden sich zwei bis vier Kraftzellsensoren, die nach dem Prinzip eines Dehnmessstreifens funktionierten. Es ging bei den durchgeführten Messungen nicht um die genaue Lokalisation der Drücke innerhalb der beiden Klauen bzw. innerhalb einer Klaue. Es sollte lediglich das erkrankte Bein identifiziert werden, damit man die Kuh spezifisch untersuchen konnte.

Für die automatisierte Lahmheitserkennung bei Kühen nutzten Rajkondawar et al. (2002b) zwei parallele Kraftmessplatten mit je vier Kraftzellsensoren („Reaction Force Detection System“). Die Tiere liefen mehrmals über die Kraftmessplatten und so wurden die Bodenreaktionskraft, die Lokalisation des Klauenabdrucks und die Laufgeschwindigkeit der Kühe erfasst. Trotz einer geringen Anzahl von Versuchstieren erkannte das Messsystem lahme Kühe zufriedenstellend. In einem weiteren Versuch (Rajkondawar et al., 2002a) wurde das System mit dem visuellen Lahmheitsscoring verglichen. Von 26 Tieren wurden 23 vom System richtig klassifiziert, lediglich drei Tieren wurden fehlerklassifiziert. In einem weiteren Schritt wurde eine Computersoftware (SoftSeparator™) entwickelt, mit der die Daten des „Reaction Force Detection Systems“ so auswertbar waren, dass eine unbestimmte Anzahl von Tieren gleichzeitig über die Messanlage laufen und die Software die Daten den einzelnen Tieren zuordnen konnte (Tasch and Rajkondawar, 2004). Das auf Induktion beruhende System konnte die Daten separieren und der entsprechenden Kuh zuordnen.

In der Untersuchung von Pastell et al. (2006) wurden im Boden eines Melkroboters vier Waagen eingelassen, die mit einer zeitlichen Auflösung von 10 Hz das Gewicht aller Gliedmassen der Kühe massen. Anhand von Gewichtsverlagerung und vermehrter Entlastung konnten lahme Kühe identifiziert werden. Ein Vorteil des Messens im Melkroboter war, dass die Kühe über eine längere Zeit auf den Waagen standen. Mit der Entwicklung eines „Probabilistic Neural Network Models“ (Pastell and Kujala, 2007) konnten die Daten dieses Messsystems so ausgewertet werden, dass das System lahme von nicht lahmen Tieren gut unterscheiden konnte, mit einer Falsch-Alarm-Quote von 1.1%. Trotz alledem waren viele Messungen nicht auswertbar, weil die Kühe teilweise ihre Gliedmassen nicht korrekt auf die Messplatten platziert hatten oder sich am Gehäuse des Roboters anlehnten, was zu

falsch-positiven oder falsch-negativen Ergebnissen führte (Pastell et al., 2008a). Aus diesem Grund verglichen die Autoren das Messsystem mit den vier Waagen im Melkroboter mit einem dynamischen Messsystem (Pastell et al., 2008b). Sie verwendeten eine Matte, die aus einem elektromechanischen Film bestand (Emfit L-serie, Emfit, Finnland) und sich bei Belastung verformte. Der Polypropylenfilm war mit Metallelektroden beschichtet und änderte seine Dicke bei Belastung, was zu einer Änderung der Ladung des Filmes führte, welches man als Volt-Signal messen konnte. Über diese mit einer Gummimatte abgedeckten Matte mussten die Kühe laufen, denn sie mass nur dynamische Kräfte. Mit diesem System konnte man ebenfalls lahme von nicht lahmen Tieren unterscheiden, jedoch mit einigen Hindernissen. Zum einen waren viele Messungen nicht auswertbar, da sich nicht alle Gliedmassen auf der Matte befanden oder die Tiere durch ängstliches Verhalten die Gliedmassen nur sehr vorsichtig belasteten. So war die Unterscheidung von lahmen und nicht lahmen Tieren sehr schwierig. Zum anderen war die Variabilität der Signale für lahme und nicht lahme Tiere sehr gross. Die Autoren sahen eine Möglichkeit der Verbesserung darin, dass die Tiere entweder länger an die Messmatte gewöhnt oder das über einen langen Zeitraum täglich gemessen werden sollte. Beide Messsysteme sollten sich ergänzen (Pastell et al., 2008b). Für die Auswertung und automatische Detektion lahmer Kühe führten Pastell and Madsen (2008) eine weitere Methode ein: sie verwendeten sogenannte CUSUM charts. Dabei wurden die Daten vorangegangener Messungen ausgewertet, um das individuelle „Stehmuster“ der Kuh zu ermitteln. Das System konnte so besser erkennen, wenn eine Kuh lahm wurde, denn die interindividuellen Unterschiede wurden dadurch minimiert. Je mehr Daten der Kühe vorhanden waren, desto exakter konnte eine Lahmheit von dem System erkannt werden (Pastell and Madsen, 2008).

In einer weiteren Studie von Pastell et al. (2010) wurde untersucht, wie gut dieses 4-Waagen-Melkroboter-Messsystem über einen kurzen Messzeitraum zur Unterscheidung von lahmen und von nicht lahmen Kühen geeignet war, und ob es klauengesunde Tiere von Tieren mit Klauenläsionen unterscheiden konnte. Dabei wurden die Tiere einer Lahmheitsuntersuchung unterzogen sowie die Klauengesundheit beurteilt. Anhand der Belastung der Gliedmassen wurde eine „Leg-weight-ratio“ ermittelt, die eine Kennzahl zur Asymmetrie der Belastung zwischen den Gliedmassen darstellte. Es konnte gezeigt werden, dass lahme von nicht lahmen Kühen sowie Tiere mit Sohlengeschwüren von Tieren ohne

Sohlengeschwüren gut unterschieden werden konnten. Weiter konnten Tiere mit «Sohlenblutungen» recht gut erkannt werden. Tiere mit Dermatitis digitalis konnte das System nicht identifizieren. Die Autoren stellten erneut fest, dass die „leg-weight-ratio“ von gesunden Kühen eine sehr grosse Varianz zeigte, was die Erkennung milder Lahmheiten erschwerte (Pastell et al., 2010).

Bei dynamischen Kraft- bzw. Gewichtsmessungen zur Lahmheitsdiagnostik muss beachtet werden, dass auch diese Messungen mehreren Einflüssen unterliegen. Chapinal et al. (2009a) stellten fest, dass Tiere in der Hochträchtigkeit ihr Gewicht zwischen Vorder- und Hinterbeinen gleichmässig verteilten. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch Bruderer (2015); sie stellte fest, dass nur kurz vor der Geburt eine tendenzielle Mehrbelastung der Hintergliedmassen stattfand. Hochträchtige Kühe verlagerten vermehrt das Gewicht von einer kontralateralen Gliedmasse auf die andere, was die Erkennung von Läsionen bei diesen erschweren konnte (Chapinal et al., 2009a). Weiter wurde die Last der Milch hauptsächlich von den Hinterbeinen getragen, sodass vor dem Melken die Hinterbeine prozentual etwas mehr Gewicht trugen als vor dem Melken. Jedoch war kein Unterschied in der Asymmetrie der Gewichtsbelastung zwischen rechter und linker Gliedmasse (der Vorderbeziehungsweise der Hintergliedmassen) vor oder nach dem Melken zu beobachten. Weiter war die Asymmetrie der Belastung beeinflussbar durch die Gabe von nichtsteroidalen Entzündungshemmern (NSAIDs) (Chapinal et al., 2010b). Lahme Kühe wiesen eine grössere Asymmetrie in der Gewichtsbelastung der Hintergliedmassen auf als gesunde Kühe; die Asymmetrie verringerte sich nach der Gabe von Ketoprofen (Chapinal et al., 2010b).

4.6. Neigung der Standfläche, Podest

Untersuchungen zum Stehverhalten und zur Belastung der Klauen bei Neigung der Standfläche sowie bei «Podestposition» gab es bisher in der erreichbaren Literatur nur sehr wenige. Das mit den Vorderbeinen erhöhte Stehen sieht man bei Tieren in Laufställen, sie stellen sich mit ihren Vorderbeinen in die Liegeboxen. Bei einigen Ställen ist sogar eine Betonstufe am Fressgitter vorhanden, sodass die Tiere mit den Vorderbeinen erhöht am Fressgitter stehen. Diese Stufe soll den Kotabsatz in den Futtertrog verhindern.

Colam-Ainsworth et al. (1989) verglichen die Managementfaktoren und das Verhalten der Kühe zwischen einer Herde mit geringer und einer Herde mit erhöhter

Lahmheitsinzidenz. In der Herde mit hoher Lahmheitsinzidenz standen 13.4% der Färsen mit den Vorderbeinen innerhalb der Liegeboxen, während in der Herde mit geringer Lahmheitsinzidenz lediglich 7.3% diese Position einnahmen. Bei den Kühen war das Verhältnis umgekehrt, so standen 7.0% der Kühe der «Lahmheits-Herde» in dieser Position und 11.0% der Kühe der Herde mit geringer Lahmheitsinzidenz in dieser Weise.

Niedrigrangige Tiere standen über einen längeren Zeitraum mit den Vorderbeinen in den Liegeboxen als mittel- oder hochrangige Tiere (Galindo and Broom, 2000). Weiter konnten die Autoren feststellen, dass bei Kühen, die mehr als 10% der Zeit in dieser Position standen, die Lahmheitsprävalenz und die Anzahl von interdigitalen und Ballenerkrankungen erhöht war. Die Autoren nahmen an, dass Tiere, die vermehrt in dieser Position verharrten, eine geringere Ballenhöhe hatten, was sie für Infektionen des Interdigitalspaltes und des Ballens prädisponierte (Galindo and Broom, 2000).

Die Gewichtsverteilung auf die vier Gliedmassen beim erhöhtem Stand der Vorderbeine wurde von Chapinal et al. (2009a) untersucht. Bei einem Höhenunterschied von 15 cm war kein Einfluss auf die Gewichtsverteilung und Asymmetrie feststellbar. Die Autoren vermuteten daher, dass die damit in Verbindung gebrachten Lahmheiten nicht auf einer Mehrbelastung der Hintergliedmassen beruhten, sondern auf der Exposition mit Detritus und Feuchtigkeit (Chapinal et al., 2009a).

Die Druck- und Kraftverteilung bei geneigter Standfläche wurde bei Kühen untersucht (Bruderer, 2015). Die Messparameter bei gerader und geneigter Standfläche unterschieden sich nicht signifikant; lediglich eine tendenzielle Mehrbelastung der Innenklauen der Hintergliedmassen bei um 3% nach kaudal geneigter Standfläche konnte erfasst werden (Bruderer, 2015).

5. Material und Methoden

5.1. Tiere

Die Messungen wurden an 32 Milchkühen durchgeführt, wovon 12 Tiere der Rasse Braunvieh (Brown Swiss und Kreuzungen) und je 10 Tiere der Rassen Rotfleck (Red Holstein und Kreuzungen) und Schwarzfleck (Holstein Friesian und Kreuzungen) (siehe Kap. 11 Anhang) angehörten. Vom Tierspital-eigenen Betrieb „Stigenhof“ stammten 17 Tiere. In diesem wurden die Kühe in Anbindehaltung auf Langstroheinstreu gehalten. Weitere 4 Tiere stammten vom Strickhof Lindau, einem Forschungs- und Ausbildungsbetrieb, wo sie ebenfalls in Anbindehaltung gehalten wurden. Für die Messungen wurden die Tiere ans Tierspital transportiert und für 3 bis 5 Tage eingestallt. Die restlichen 11 Tiere waren Klinikpatienten, die wegen einer anderen Erkrankung als einer Lahmheit behandelt und mit Einverständnis der Besitzer untersucht wurden. In ihren Heimatbetrieben wurden sechs Tiere in einem Laufstall und fünf in Anbindehaltung gehalten. Die Messungen wurden unter der Nummer 202/2013 vom Veterinäramt des Kantons Zürich als Tierversuch mit dem Schweregrad 0 genehmigt.

Die Kühe befanden sich in der zweiten bis inklusive der vierten Laktation. Das Alter betrug im Mittelwert 3.85 Jahre (Min. 2 Jahre; Max. 6 Jahre und 4 Monate). Das Laktationsstadium betrug mindestens 4 Wochen nach Abkalbung bis kurz vor dem Trockenstellen (Mittelwert 5.3 Monate; Min. 1 Monat, Max. 16 Monate). Die letzte Klauenpflege musste mindestens 4 Monate zurückliegen, damit aussagekräftige Ergebnisse für die Untersuchung vor und nach der Klauenpflege zu erhalten waren. In der klinischen Allgemeinuntersuchung durften keine Erkrankungen mit Auswirkungen auf den Bewegungsapparat feststellbar sein. Beim Vorführen mussten die Tiere lahmheitsfrei laufen und bei einer Inspektion der Klauen im Klauenstand keine groben Schäden des Horns aufweisen (leichtgradige Ballenhornfäule und leichtgradige Dermatitis digitalis – M-1 und M-3-Stadien – wurden toleriert). Falls die Tiere wegen einer anderen Erkrankung eingestallt waren, mussten sie von gutem Allgemeinzustand sein, im physiologischen Bereich befindliche Vitalparameter aufzeigen und lahmheitsfrei gehen. Allfällige Therapie durch Schmerzmedikamente (z.B. nach einer Labmagenoperation) mussten mindestens 2 Tage vor der Messung abgesetzt worden sein. Die Gabe von Antibiotika oder anderen Medikamenten wurde

daher dokumentiert. Ebenso wurde der BCS der Tiere nach Edmonson et al. (1989) erhoben.

Die Kühe wurden jeweils auf einer Brückenwaage gewogen. Dabei wurde das gesamte Tier, aber auch die Gewichtsbelastung der Vorder- und Hinterbeine getrennt gemessen.

Während des Aufenthalts am Tierspital Zürich wurden alle Tiere angebunden auf Gummibodenbelag mit Langstroh-Einstreu gehalten. Die Fütterung bestand aus Heu, Mineral- und Kraftfutter sowie teilweise Grassilage.

5.2. Messstand

Für die Messungen wurde ein eigens angefertigter mobiler Stand verwendet. Er bestand aus einem Metallrahmen (108 x 250 cm), auf dem sich fünf Metallelemente mit einer Gitterrost-Oberfläche befanden, die quer zur Standfläche angebracht waren (Abb. 1). Zwischen den ersten beiden Metallelementen am Kopfende (45 cm vom Querende entfernt) wurde die gleich breite footscan®-Kraftmessplatte (AMTI, Watertown, MA, USA) ebenfalls quer eingelassen. Somit konnten nur entweder beide Vorder- oder beide Hinterbeine, jedoch nicht alle vier Gliedmassen gleichzeitig, gemessen werden. Auf den Metallelementen wurden rutschfeste Gummimatten befestigt. Diese brachten die Druckmessplatte (RSscan International, Olen, Belgien), die sich zum Zeitpunkt der Messung auf der Kraftmessplatte befand, und die restliche Standfläche auf ein gleiches Höhenniveau. Am Metallrahmen waren an jeder Ecke stufenlos verstellbare Füße angebracht, die ein exaktes horizontales Ausrichten des Messstandes mit Hilfe einer Wasserwaage möglich machten.

Ein verstellbares Metallgestänge war auf dem Messstand angebracht, so dass die Tiere für die Messungen kontrolliert werden konnten (Vorbeugen gegen ein Herunterspringen oder gegen ein starkes Vor- bzw. Zurückdrängen während des Messvorganges).

Das Auf- und Absteigen wurde den Kühen erleichtert, in dem zwei mit rutschfesten Gummimatten versehenen Europoolpaletten an den kurzen Enden angelegt wurden (Abb. 2). Diese dienten gleichzeitig als Podest für die Messung der Vordergliedmassen.

Zum Zeitpunkt der Messung wurde eine 5 mm dicke Gummimatte zum Schutz der Druckmessplatte über die gesamte Standfläche gelegt (Abb. 1)

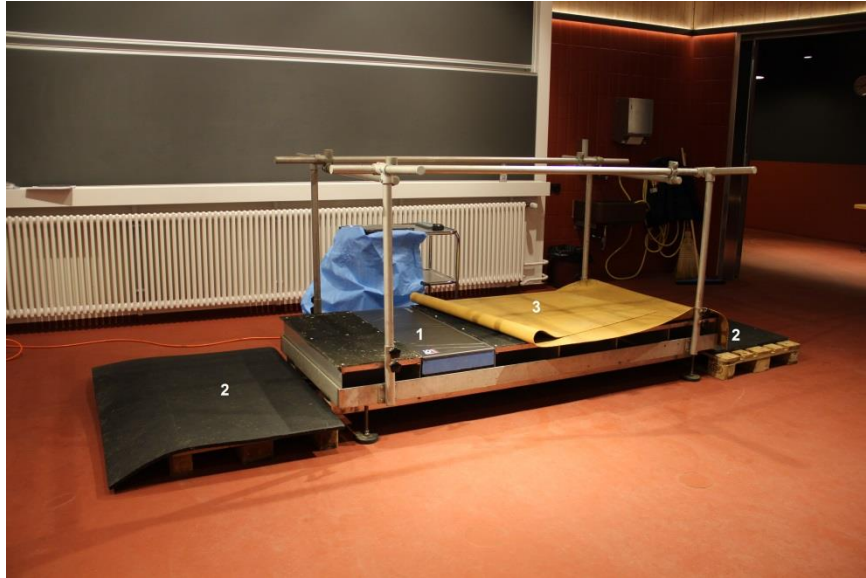


Abb. 1: Messstand mit am Kopfende eingelassener Kraft- und darüber gelegter Druckmessplatte (1) sowie zwei seitlich angebrachten Europoolpaletten (2) und einer Schutzgummimatte (3) die zum Zeitpunkt der Messung über die gesamte Standfläche ausgebreitet wurde.

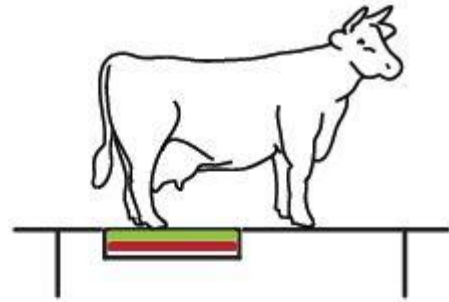
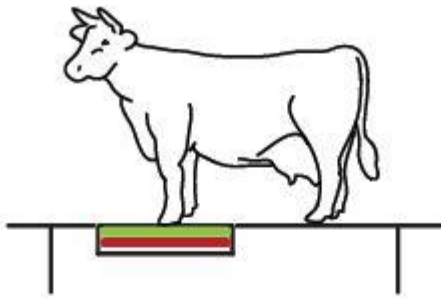
5.3. Messung bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche und Messung mit dem Podest

Um die Neigung der Läger und teilweise auch der Liegeboxen nachzuempfinden, wurden alle Messungen sowohl bei ebener Standfläche (gerade) als auch bei um 3% nach kaudal geneigter Standfläche (schräg) durchgeführt. Zur Herstellung der definierten Schräge wurde ein 7.5 cm hoher Holzbalken unter die Füße des Messstandes eingeschoben (siehe Abb. 2), jeweils dort wo sich der Kopf der Kuh befand.

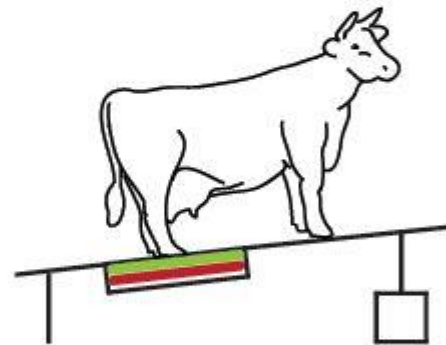
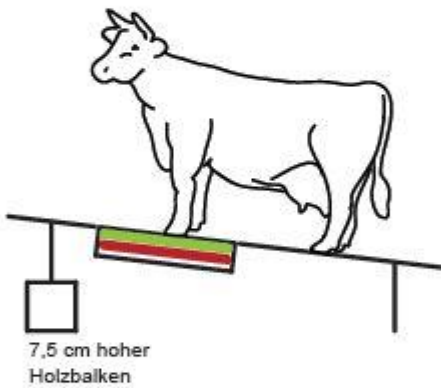
Für die Untersuchung, warum Kühe oft freiwillig mit den Vorderbeinen erhöht stehen, wurde ein eigens dafür angefertigtes Metallpodest verwendet. Das Podest wies eine Höhe von 25 cm sowie eine 65 x 95 cm grosse Standfläche auf und war mit einer rutschfesten Gummimatte abgedeckt. Dieses Podest kam bei der Messung der Hintergliedmassen zur Anwendung. Für die Messung der Vordergliedmassen standen die Kühe auf einer mit einer Gummimatte überzogenen Europoolpalette, deren Höhenunterschied zur Messvorrichtung ebenfalls 25 cm betrug (siehe Abb. 2). Wie oben erwähnt, war eine simultane Messung aller vier Gliedmassen nicht möglich, sondern es konnten nur die kontralateralen Vorder- oder Hinterbeine zusammen gemessen werden.

Standpositionen Kühe

(a) gerade



(b) schräg (3 % nach kaudal geneigte Standfläche)



(c) Podest

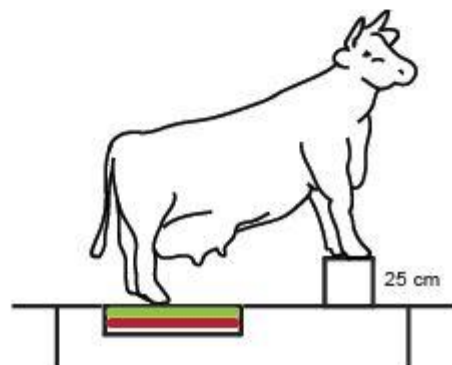
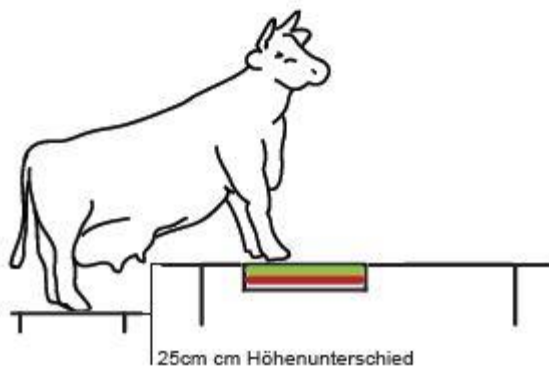


Abb. 2: Schema der Messungen bei den verschiedenen Standpositionen. Grüner Balken = Druckmessplatte; roter Balken = Kraftmessplatte.

5.4. Messsystem

Das Messsystem bestand aus der footscan®-Kraftmessplatte (AMTI, Watertown, MA, USA) in Kombination mit der darauf platzierten Druckmessplatte (RSscan International, Olen, Belgien). Die beiden Messplatten wurden mit Hilfe einer 3D-Interface-Box sowohl miteinander als auch mit dem Computer verknüpft (Abb. 3).



Abb. 3: Verknüpfung von Kraft- und Druckmessplatte mit der 3D-Interface-Box und dem PC

Die Kraftmessplatte (107 x 42 x 18 cm, 75 kg) mass die Bodenreaktionskräfte in der x-, y- und z- Achse.

Die Kraftmessplatte funktionierte nach dem Prinzip eines Dehnungsmessstreifens. Bei einer äusseren Krafteinwirkung wurden die Messtreifen gedehnt und somit änderte sich der elektrische Widerstand, welches als Signal erfasst wurde. Über die Änderung des elektrischen Widerstands konnte die einwirkende Kraft gemessen werden. Die Kraftmessplatte besass 7 Dehnungsmessstreifen, zwei in der x-, eine in der y- und vier in der z-Achse. Die messbaren Maximalkräfte betrugen in der x- und y- Achse je 5000 N und in der z- Achse 10 000 N. Die Sensitivität betrug 1 N in jede Messrichtung und es wurde mit einer Frequenz von 160 Hz in der x-, 170 Hz in der y- und 185 Hz in der z-Achse gemessen. Die Kraftmessplatte konnte bei Umgebungstemperaturen von 0 bis +45° Celsius arbeiten.

Das footscan®-Hi-end-System (RSscan International, Olen, Belgien) bestand aus der Druckmessplatte (106,8 x 41,8 x 1,2 cm, 7,7 kg) sowie aus einer 3-D-Interface-Box. Die Druckmessplatte verfügte über 8192 Sensoren (angeordnet als

128 x 64-Matrix), die dynamische Drücke bis zu einer Frequenz von 500 Hz messen konnte. Ein Sensor mass 7.62 x 5.08 mm, was einer Dichte von 2.6 Sensoren pro cm² entsprach (aktive Sensorfläche der Platte: 975 x 325 mm). Der erfasste Druck betrug 0 bis 200 N/cm². Die resistiven Sensoren wurden bei Druckbelastung verformt, ihre mit elektrischen Widerständen behaftete Oberfläche wurde somit gedehnt und es kam zur Änderung des elektrischen Widerstandes. Die Druckmessplatte hatte einen optimalen Arbeitstemperaturbereich von +15 bis +30° Celsius.

Mit Hilfe der 3-D-Interface-Box konnten die Daten der Druckmessplatte mit denen der Kraftmessplatte verbunden und zusammen zum Computer geleitet werden. Diese Verknüpfung war auch für die Kalibrierung des Messsystems wichtig, die vor jeder Messung erfolgte. Es konnte definiert werden, dass auf der Kraftmessplatte in x- und y- Achse positive und negative Werte (in V/N), in der z- Achse nur positive Werte gemessen wurden. Für die einzelnen Achsen konnten Messbereiche zwischen 1000 und 5000 N ausgewählt werden. In der hier vorgelegten Arbeit wurde ein Bereich von 1000 N ausgewählt. So voreingestellt erfolgte vor jeder Messung die Kalibrierung der Kraftmessplatte. Die Kalibrierung der Druckmessplatte erfolgte mit Hilfe der Signale der z-Achse der Kraftmessplatte. Für die Kalibrierung durfte sich nichts weiter als die 5 mm dünne Schutzgummimatte auf der Druck-, und Kraftmessplatte befinden.

Die ermittelten Daten wurden mit der footscan®-7-balance-Software (RSscan INTERNATIONAL, Olen, Belgien) dargestellt. Die Druck- und Kraftmessplatte massen mit einer Frequenz von 250 Hz über zwei Sekunden, was zu insgesamt 500 Druckmessbildern pro Messung führte.

5.5. Versuchsvorbereitung

Am Ankunfts tag am Tierspital Zürich wurden die Tiere einer klinischen Allgemeinuntersuchung unterzogen. Dabei wurden folgende Parameter erhoben: innere Körpertemperatur, Herz- und Atemfrequenz, Beurteilung der Schleimhäute sowie der kapillaren Wiederfüllzeit, Auskultation des Gastrointestinaltrakts inklusive Schwing- und Perkussionsauskultation, Beurteilung des Kots sowie der Beurteilung der Belastung der Gliedmassen. Ein reduzierter Allgemeinzustand, von den physiologischen abweichende Parameter oder eine Lahmheit wurden als Ausschlusskriterium herangezogen.

Die Tiere wurden zur Gewöhnung an das Halfter sowie an die Manipulationen von einer Hilfsperson auf dem Tierspitalgelände hin und her geführt. Anschliessend wurden die Klauen im Klauenuntersuchungsstand auf Schäden untersucht. Wiesen die Klauen Erkrankungen wie Rusterholzsches Sohlengeschwür, eitrig-hohle Wand, eitrig-e Doppelsohle oder andere auf, wurden sie ebenfalls von den Messungen ausgeschlossen. An den Messstand wurden die Tiere durch das Verbringen in den Klauenstand sowie mittels positiver Konditionierung durch Futter gewöhnt.

An den jeweiligen Messtagen wurde noch einmal eine kurze klinische Allgemeinuntersuchung durchgeführt und auf Lahmheitsanzeichen geachtet.

5.6. Klauenpflege

Die Klauenpflege wurde entweder am unsedierten Tier im Klauenstand oder auf dem Kipptisch unter Sedation (Xylazin: 0.02 mg/kg KM i.m., Streuli Pharma AG, Uznach, Schweiz) durchgeführt. Die Kühe wurden von einer Hilfsperson in den Klauenstand geführt und am Bauch mittels Gurten sowie an der jeweiligen Gliedmasse fixiert. Die Klauenpflege wurde gemäss dem Handbuch zur Klauenpflege beim Rind (Lischer et al., 2014) durchgeführt. Die Klauen wurden vor der Klauenpflege von grobem Schmutz befreit und mit einer Klauenuntersuchungszange auf Schmerzhaftigkeit untersucht. Veränderungen an den Klauen, wie z.B. Dermatitis digitalis oder Ballenhornfäule, wurden dokumentiert und die Klauen anschliessend fotografiert. Die Klauenpflege wurde mit einem Winkelschleifer von Metabo (WE 14-150 Plus) mit feiner (Exzentrerschleifpapier, Körnung 80, Ø 115 mm) oder grober Schleifscheibe (Hauptner, Superklauenschleifscheibe, dicht, Körnung 30, Ø 115 mm) durchgeführt. Falls nötig wurde die Hohlkehlung mit einem Klauenmesser nachgeformt und allfällige Hornveränderungen ausgeschnitten. Nach der Klauenpflege wurden die Klauen nochmals fotografiert.

5.7. Versuchsdurchführung

Der Messstand wurde mit Hilfe eines Gabelstaplers oder einer manuell steuerbaren Gabelhubwaage aufgestellt. Die Messungen mussten bei einer Umgebungstemperatur von mindestens 15 Grad Celsius durchgeführt werden, da dies die untere Betriebstemperatur der Druckmessplatte war. Für die warmen Monate April bis September konnte eine ebene, überdachte Fläche mit Betonboden im Freien benutzt werden. Für die kalten Monate Oktober bis Februar wurde der Demonstrationshörsaal des Tierspitals Zürich verwendet. Dieser wies ebenso einen

ebenen und rutschfesten Boden auf, verfügte über Wärme, Beleuchtung und einen Wasseranschluss.

Vor Messbeginn wurde der Messstand mit Hilfe einer Wasserwaage auf ein horizontales Niveau gebracht, in dem die stufenlos verstellbaren Füsse manuell angepasst wurden. Anschliessend und vor jeder weiteren Manipulation wurde das gesamte Messsystem kalibriert.

Die Messungen fanden im Zeitraum vom 30.03.2014 bis zum 22.02.2015 statt. Die Kühe, die vom Tierspital-eigenem Betrieb „Stigenhof“ oder dem Strickhof Lindau ans Tierspital Zürich gebracht wurden, kamen in kleinen Gruppen von zwei bis vier Tieren. Sie blieben zwischen 3 und 5 Tagen am Tierspital. Die Tiere kamen mindestens einen Tag vor der ersten Messung an, damit sie sich etwas an Haltung, Fütterung und Umgang gewöhnen konnten. Am Vortag der Messung (= Tag 0) wurde mit den Kühen ein Probelauf auf dem Messstand durchgeführt. In den meisten Fällen wurde am Tag 1 die «Messung vor der Klauenpflege» vorgenommen, in wenigen am Tag 2. Am Tag 2 erfolgte die Klauenpflege und am Tag 3 die «Messung nach der Klauenpflege». Somit wurde sichergestellt, dass die Tiere nicht zu lange Zeit im Versuch waren, damit sich keine negativen Auswirkungen auf ihr Allgemeinbefinden oder ihr Fressverhalten ergaben. Wenn es sich organisatorisch nicht anders einrichten liess, wurde die «Messung vor der Klauenpflege» und die Klauenpflege an einem Tag durchgeführt und die «Messung nach der Klauenpflege» am Folgetag vorgenommen. Die Zeit, in der die Kühe sich ausserhalb des Stalles aufhielten, betrug stets weniger als insgesamt drei Stunden pro Tag.

Für die Messung vor der Klauenpflege wurden die Klauen zunächst mit dem Hochdruckreiniger gewaschen und die Tiere anschliessend auf der Brückenwaage gewogen (Gesamtkörpermasse, Masseverteilung an Vorder- und Hintergliedmassen). Auf einer ebenen Standfläche wurden die Klauen vermessen. Dabei wurden die Parameter Dorsalwandlänge, Winkel zwischen Sohlenfläche und Dorsalwand sowie Ballenlänge mittels eines Messschiebers sowie eines elektronischen Winkelmessers (TOOLCRAFT, elektronischer Winkelmesser, NR. 81 61 41) gemessen.

Zu der Messung bei gerader Standfläche wurden die Tiere im Messstand am Kopf locker angebunden, sodass sie eine natürliche Stellung einnehmen konnten. Für das Führen und das Fixieren war stets eine Hilfsperson anwesend, die die ganze Zeit beim Kopf der Tiere stand. Nach dem Aufsteigen auf den Messstand wurden die

Tiere mit Futter belohnt. Nun erfolgten 5 aufeinanderfolgende Messungen bei ebener Standfläche. Nach jeder Einzelmessung wurde das Tier durch Hin- und Herschieben dazu gebracht, seine Beine neu auf der Messplatte zu positionieren, damit eine möglichst „normale“ Position aus den 5 Messungen zu erhalten war. Da die Druck- und Kraftmessplatte fix an einem Ende des Messstandes installiert waren, mussten die Kühe jeweils von der einen oder der anderen Seite auf den Messstand geführt werden, damit Vorder-, und Hinterbeine gemessen werden konnten. Auch für die Messung bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche (schräg) erfolgten 5 Messungen.

Für die Messung der Vordergliedmassen bei der «Podestposition» standen 21 Tiere zur Verfügung. Für diese Standfläche wurde eine Querstange in etwa der Mitte des Messstandes montiert, sodass die Tiere nur mit den Vorderbeinen auf dem Messstand (und somit auf der Druck-, und Kraftmessplatte) standen und mit den Hinterbeinen auf einer Stufe, die genau 25 cm tiefer als der Messstand war. Für die Messung der Hinterbeine wurden die Kühe komplett auf den Messstand geführt, auf dem sich ein 25cm hohes Podest auf Höhe der Vorderbeine befand (Abb.2), so dass die Hinterbeine genau auf der Messplatte positioniert waren. Alle Messungen wurden vor- und nach Klauenpflege entsprechend durchgeführt; wiederum erfolgten 5 Messungen.

Auch die oben genannten Klauenmasse wurden nun nach Klauenpflege erneut gemessen und dokumentiert.

5.8. Ermittelte Parameter

5.8.1. Kraft

Die an den Klauen wirkenden Bodenreaktionskräfte wurden als Matrixbild von der Kraftmessplatte in Form einer Excel-Tabelle ausgegeben (Kraft pro Sensor) (Abb. 4). Die Abbildung ist analog zur Kraftmessplatte in x- und y- Richtung ausgerichtet, die Zellen entsprechen den Sensoren. Zellen mit dem Wert 0 stellen unbelastete Sensoren dar, alle belasteten Sensoren enthalten die Kraft pro Sensor als Zahlenwert (N). Anhand dieser Matrixbilder konnte man gut das rechte bzw. linke Bein identifizieren sowie die dazugehörigen Innen- und Aussenklauen festlegen (Abb. 4).

5.8.2. Druck und Fläche, Problematik Druckmessplatte

Mit Hilfe der belasteten Sensoren der Druckmessplatte und dem Wissen über die Grösse der Sensoren sollten die Fläche und der Druck der einzelnen Klauen berechnet werden (Abb. 6)

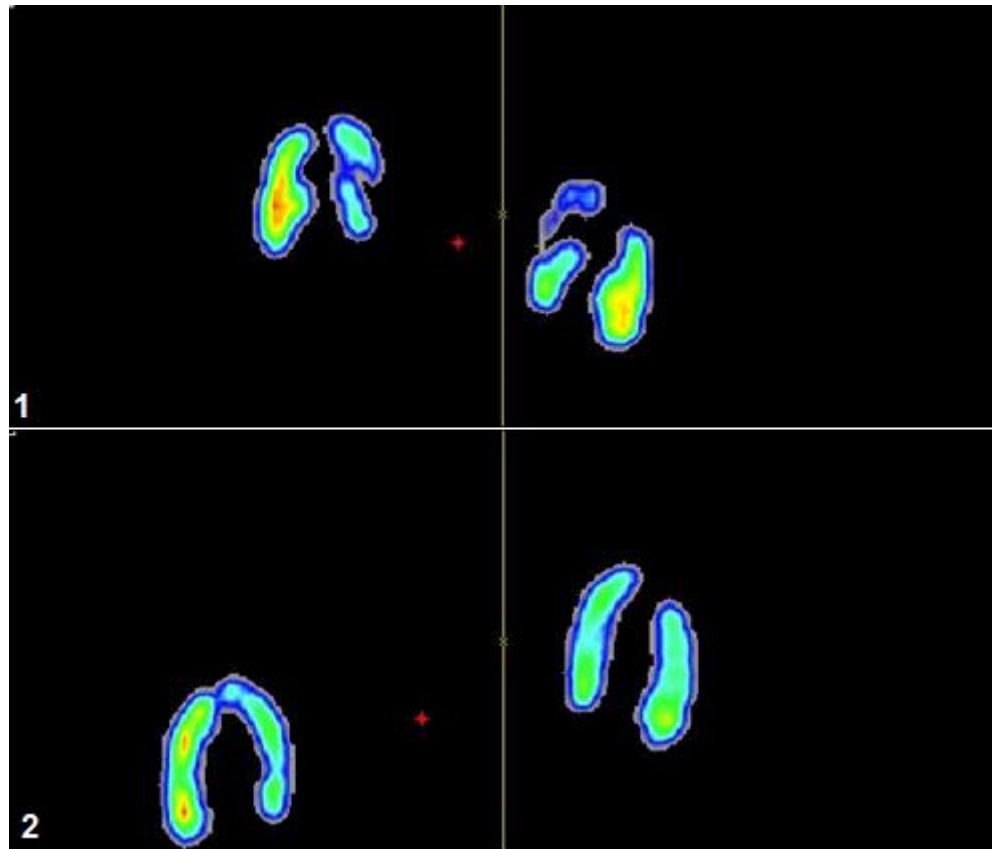


Abb. 6: Abdruck der Klauen der Hintergliedmassen der Kuh „Elmina“ auf der Druckmessplatte bei geradem Stand. 1 = **vor** der Klauenpflege; 2 = **nach** der Klauenpflege. Roter Punkt = Schwerpunkt zwischen den Gliedmassen.

Über die Phase der Messungen trat jedoch ein Verschleiss der Druck-Messsensoren ein, der infolge der unabhängig davon erstellten Matrixbilder nicht erkennbar war. Die Sensitivität der Messplatte liess stark nach und die registrierten Druckunterschiede waren nicht mehr verlässlich. Die kleinste mögliche Auflösung war zuletzt die einer Klaue. Die Parameter Fläche und damit Druck konnten daher für die hier vorgelegte Untersuchung nicht ausgewertet werden.

Zur Überprüfung der Verlässlichkeit der Kraftmessplatte wurden die mit ihr ermittelten Kräfte der Vorder- bzw. Hintergliedmassen in N mit den Massewerten, die mit der Brückenwaage gemessen worden waren, verglichen. Diese Parameter waren

übereinstimmend und veränderten sich auch im Verlauf der Messungen nicht, sodass diese Gewichtskräfte auswertbar waren.

5.8.3. Auswertung der Messdaten

Die Kräfte wurden dahingehend ausgewertet, ob Unterschiede in der Gliedmassen- und Klauenbelastung zwischen den verschiedenen Standflächen und Positionen auftraten. Weiterhin wurde untersucht, ob die Klauenpflege zu einer ausgeglicheneren Lastverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen führte. Dazu wurde die Kraftverteilung der Innen- und Aussenklauen der Becken- bzw. Schultergliedmasse in den jeweiligen Positionen (gerade, schräg, Podest) vor der Klauenpflege mit der Verteilung nach der Klauenpflege verglichen. Bei allen Tieren wurden alle 5 Messungen zur Auswertung herangezogen, so dass insgesamt je 160 Messungen für die Messpositionen «gerade» und «schräg» und 105 Messungen für die «Podestposition» vorlagen (die ersten 11 Tiere wurden ohne «Podestposition» gemessen).

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics (Version 22) sowie R (Version 3.2.4). Für die graphische Darstellung wurden Excel-Diagramme verwendet.

Für die Beurteilung der Verteilung der Gewichtskräfte zwischen den Gliedmassen und Klauen wurde ein zweistufiges hierarchisches Modell verwendet, ein sog. „mixed model“, welches sowohl „fixed“ als auch „random effects“ mit einbezog. Das erste Modell, das kreiert wurde, berücksichtigte zwei Gruppierungsstrukturen: Rasse und Kuh. Da es für jede Messposition 5 Wiederholungsmessungen gab, musste man dies in der Korrelation berücksichtigen (da es auch zwischen den Wiederholungsmessungen Unterschiede gab). Gleichzeitig wollte man wissen, ob die Rasse einen Effekt in dem Modell hatte. Darum wurde ein zweites Modell kreiert, welches nur den Wiederholungseffekt berücksichtigte, und diese beiden Modelle wurden nachfolgend mittels einer ANOVA verglichen. So konnten jeweils die anderen Parameter (Abstand Position, Gewichtskräfte, Milchleistung, Lastverteilung Aussenklauen-Innenklauen) analysiert werden.

Da man nun einen Einblick in die Lastverteilung und ihrer abhängigen Parameter hatte, konnte man die Rassen zusammengefasst betrachten und alle

folgenden Fragestellungen getrennt nach Positionen und Klauenpflegestatus bearbeiten.

Dafür wurden entsprechend zu untersuchende Wertepaare gebildet und zunächst auf Normalverteilung untersucht. Bei einem p- Wert >0.05 (Shapiro-Wilk Test) wurden die Werte als normal verteilt angesehen. Für die normal verteilten Werte wurde ein t-Test mit verbundenen Stichproben durchgeführt. Für die nicht normal verteilten Daten wurde ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Als statistisch signifikant wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0.05$ festgelegt. Bei allen Messungen wurden die 5 Wiederholungsmessungen einzeln betrachtet, um einen möglichst grossen Informationsgewinn zu erzielen. Die entsprechenden Ergebnisse wurden als Mittelwerte oder Mediane angegeben.

6. Resultate

6.1. Tiere

Die Körpermasse der Kühe betrug im Mittel 618.6 kg (Min. 500 kg; Max. 840 kg), die von den Vorderbeinen getragene im Mittel 330.3 kg (Min. 270 kg; Max. 450 kg) und die von den Hinterbeinen getragene im Mittel 287.7 kg (Min. 230 kg; Max. 390 kg).

Die Gesamtkraft der Kühe betrug im Mittel 5897.3 N (Min. 4733.1 N; Max. 8178.7 N), die der Vorderbeine im Mittel 3186.9 N (Min. 2240.1 N; Max. 4422.5) und die der Hinterbeine 2710.4 N (Min. 2013.4 N; Max. 3809.2 N). Somit ergab sich eine gute, jedoch keine präzise Übereinstimmung von Körpergewicht und Gewichtskräften. Hierbei war zu beachten, dass die Gesamtkraft rein rechnerisch ermittelt wurde, da die auf den Vorder- und Hinterbeinen lastenden Kräfte getrennt gemessen wurden.

Der BCS der Tiere nach Edmonson et al. (1989) betrug im Mittel 2.75 (± 0.55 ; Min. 2; Max. 4) (siehe Kap. 11: Anhang Auflistung Versuchstiere).

6.2. Kraftverteilung an den Klauen der Gliedmassen von laktierenden Milchkühen und ihre Einflussfaktoren

Diese Fragestellung befasst sich zunächst mit den grundlegenden Parametern und Einflussfaktoren der Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Bein sowie der Aussen- und Innenklauen der Schulter- bzw. Beckengliedmasse.

6.2. (a) Lastverteilung rechts-links vs. Abstände der Beine

Dazu wurden die absoluten Werte der Differenz der relativen Gewichtskraftverteilung des rechten und linken Beines dem direkten Abstand des jeweiligen Beinpaares gegenübergestellt. Es wurde mit absoluten Werten gerechnet, da nicht die Richtung der Lastverteilung von Interesse war, sondern vielmehr wie stark unterschiedlich sich die Lastverteilung darstellte. Lastverteilungswerte nahe 1 bedeuten somit, dass rechtes und linkes Bein sehr einseitig belastet wurden und Werte nahe 0 bedeuten, dass rechtes und linkes Bein annähernd gleich belastet wurden. Die Berechnungen wurden für Vorder- und Hinterbeine sowie vor und nach Klauenpflege einzeln betrachtet.

Aus der Grafik (Abb.7) kann man entnehmen, dass eine breite Streuung der Daten vorlag. Eine gleichmässige relative Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Bein

ist prinzipiell bei jedem Abstand möglich. Zusätzlich gibt es eine statistisch signifikante Beziehung bei der der direkte Abstand der Vorderbeine grösser ist, wenn die Kühe rechtes und linkes Bein gleichmässiger belasteten (sowohl vor als auch nach Klauenpflege, $p < 0.01$). Oder anders gesagt, konnten die Gewichtskräfte besser verteilt werden, wenn die Vorderbeine weiter auseinander gestellt wurden.

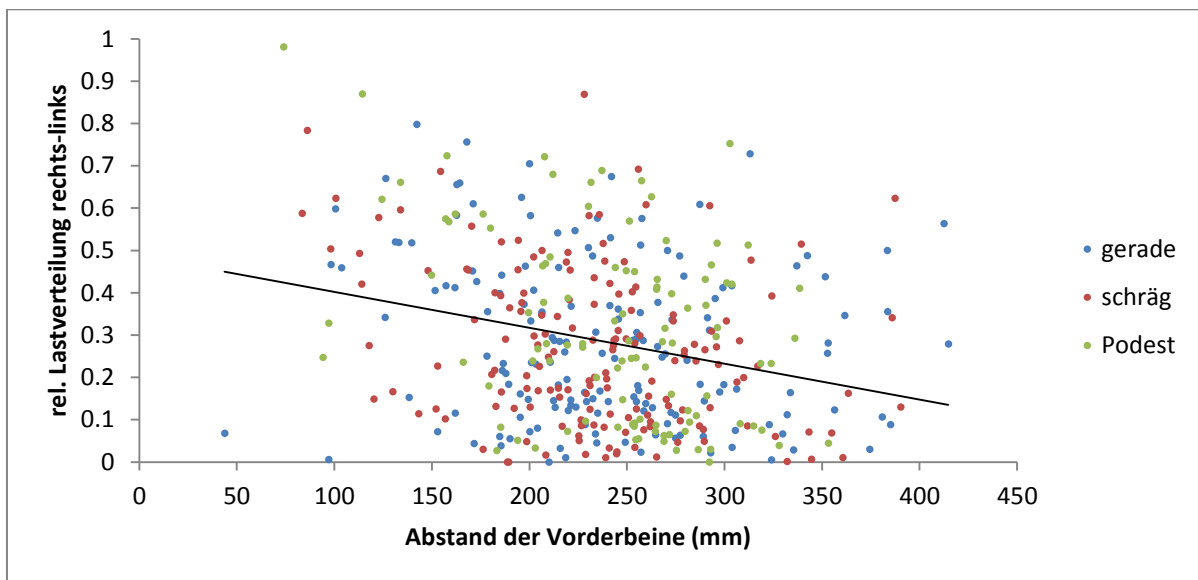


Abb. 7 Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Vorderbein vs. den direkten Abstand der Vorderbeine bei verschiedenen Positionen, vor Klauenpflege.

An den Hinterbeinen zeigte sich dieser Unterschied genau umgedreht: je weiter der Abstand der Hinterbeine voneinander war, desto ungleichmässiger war die Belastung zwischen rechtem und linkem Bein (statistisch signifikant nach Klauenpflege, $p = 0.0463$) (Abb.8). Vor der Klauenpflege ergab sich an den Hinterbeinen kein statistisch signifikanter Einfluss ($p = 0.1494$). Auch hier muss man erwähnen, dass eine breite Streuung der Daten vorlag und eine gleichmässige relative Gewichtsbelastung zwischen rechtem und linkem Bein prinzipiell bei jedem Abstand möglich war.

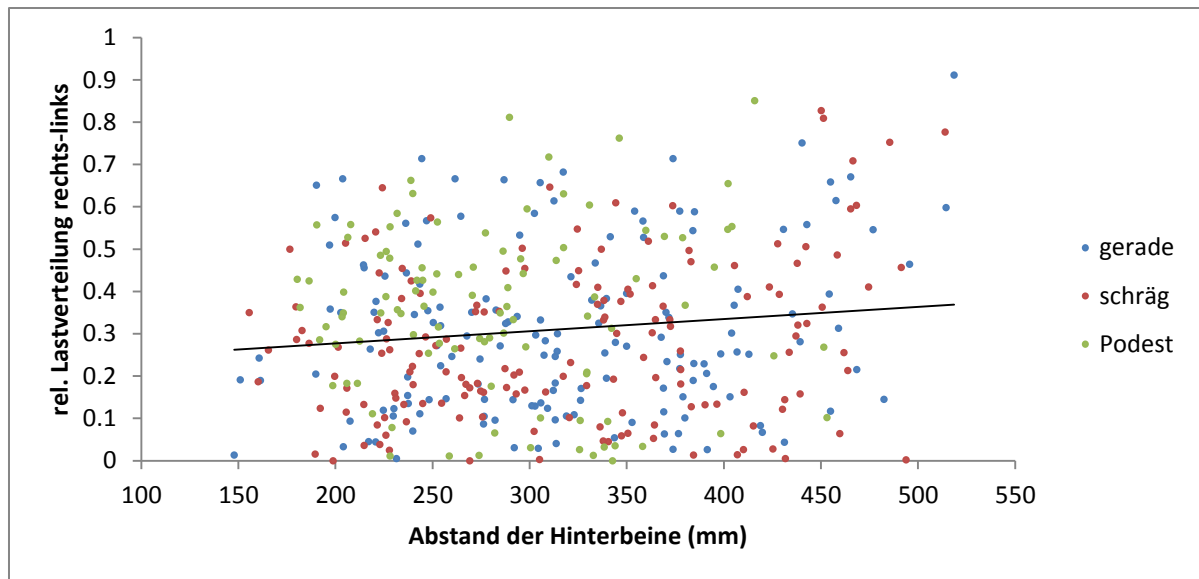


Abb. 8 Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Hinterbein vs. Abstand der Hinterbeine, bei verschiedenen Positionen, nach Klauenpflege

Die verschiedenen Positionen (gerade, schräg, Podest) hatten jeweils einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Lastverteilung, jedoch nur zwischen rechtem und linkem Bein. Der Einfluss der Position «vorne nach Klauenpflege» war signifikant mit einem $p = 0.0146$, derjenige der Position «hinten vor Klauenpflege» mit $p=0.0006$ (Abb. 10) und derjenige der Position «hinten nach Klauenpflege» mit $p=0.0243$. Die Position, bei der es keinen statistisch signifikanten Einfluss gab, war die an Vorderbeinen vor Klauenpflege ($p=0.1696$) (Abb. 9).

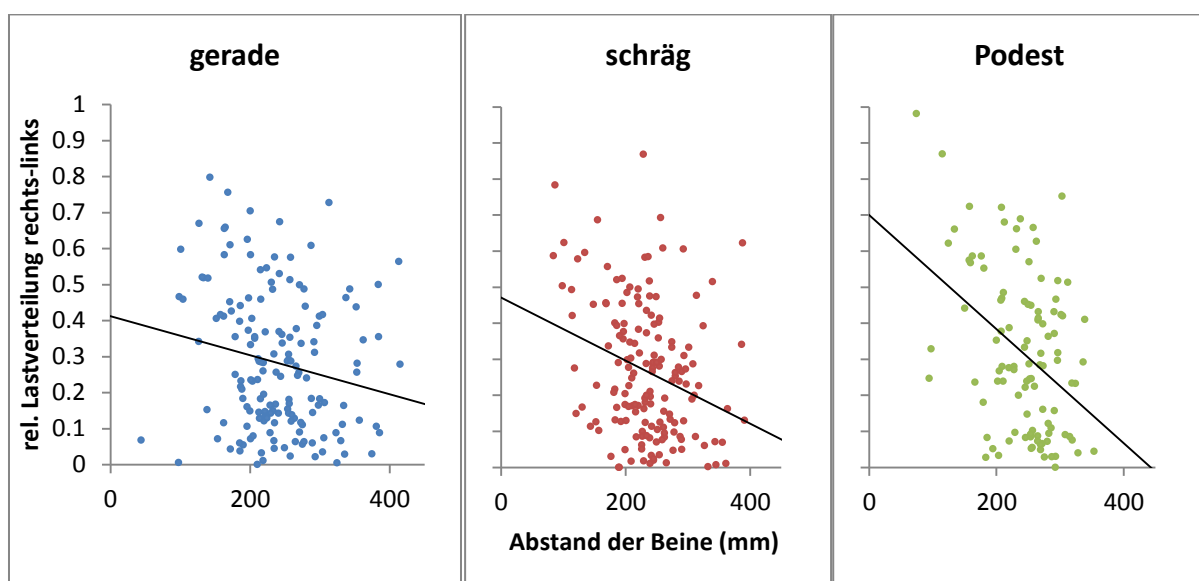


Abb. 9 Relative Lastverteilung rechts-links in Abhängigkeit vom Abstand der Vorderbeine vor Klauenpflege, getrennt nach Positionen/Standflächen

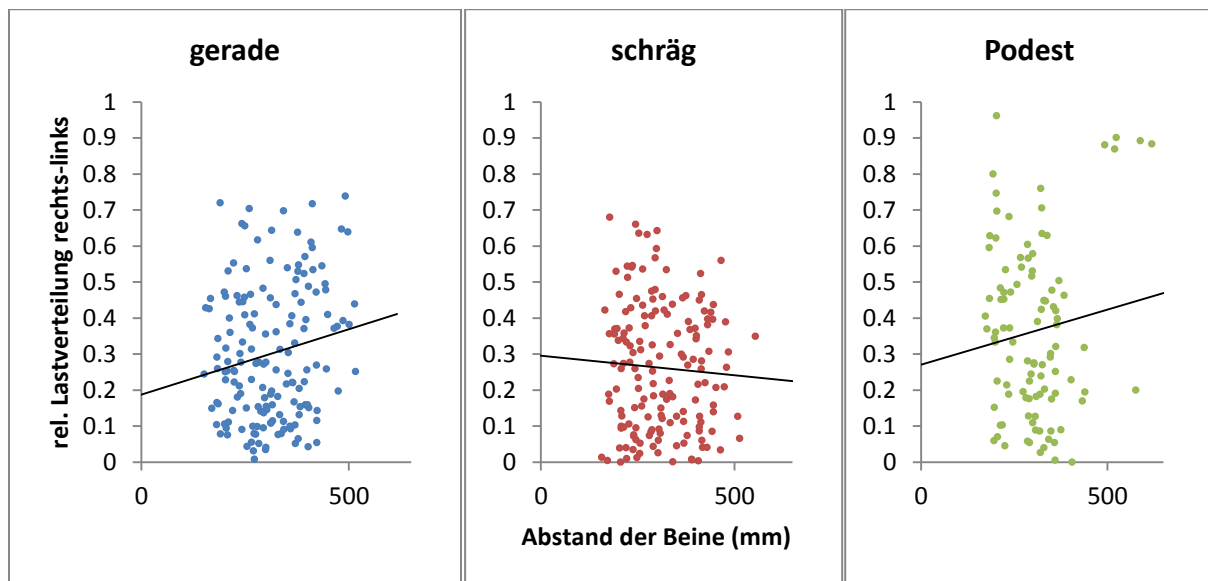


Abb. 10 Relative Lastverteilung rechts-links in Abhängigkeit vom Abstand der Hinterbeine (vor Klauenpflege) getrennt, nach Positionen/Standflächen

Für den Einfluss der Rasse auf die Lastverteilung wurde, wie oben dargelegt, ein „Mixed Model“ verwendet. Ein „Mixed Model“ verwendet die Kovarianz sowohl zwischen jeder Gruppe (Rassen) als auch innerhalb der Gruppe (Kuh: Wiederholungsmessungen). Ein Mixed Model ist das moderne Verfahren zur traditionellen „MANOVA“ (aber mit grösserer Teststärke und Flexibilität). Bei der hier vorgelegten Untersuchung zeigte sich, dass die Rasse keinen Einfluss auf die Lastverteilung hatte (Vorderbeine vor Klauenpflege $p=0.4476$; Hinterbeine vor Klauenpflege $p=0.9997$; Hinterbeine nach Klauenpflege $p=0.9997$). Lediglich bei der Betrachtung der Vorderbeine nach Klauenpflege gab es rassespezifische Unterschiede ($p=0.033$) (Abb. 11). Diese bestanden zum Beispiel darin, dass sich beim Braunviehrind die Last mit jedem Millimeter Abstand zwischen den Vorderbeinen signifikant gleichmässiger verteilte als beim Fleckviehrind.

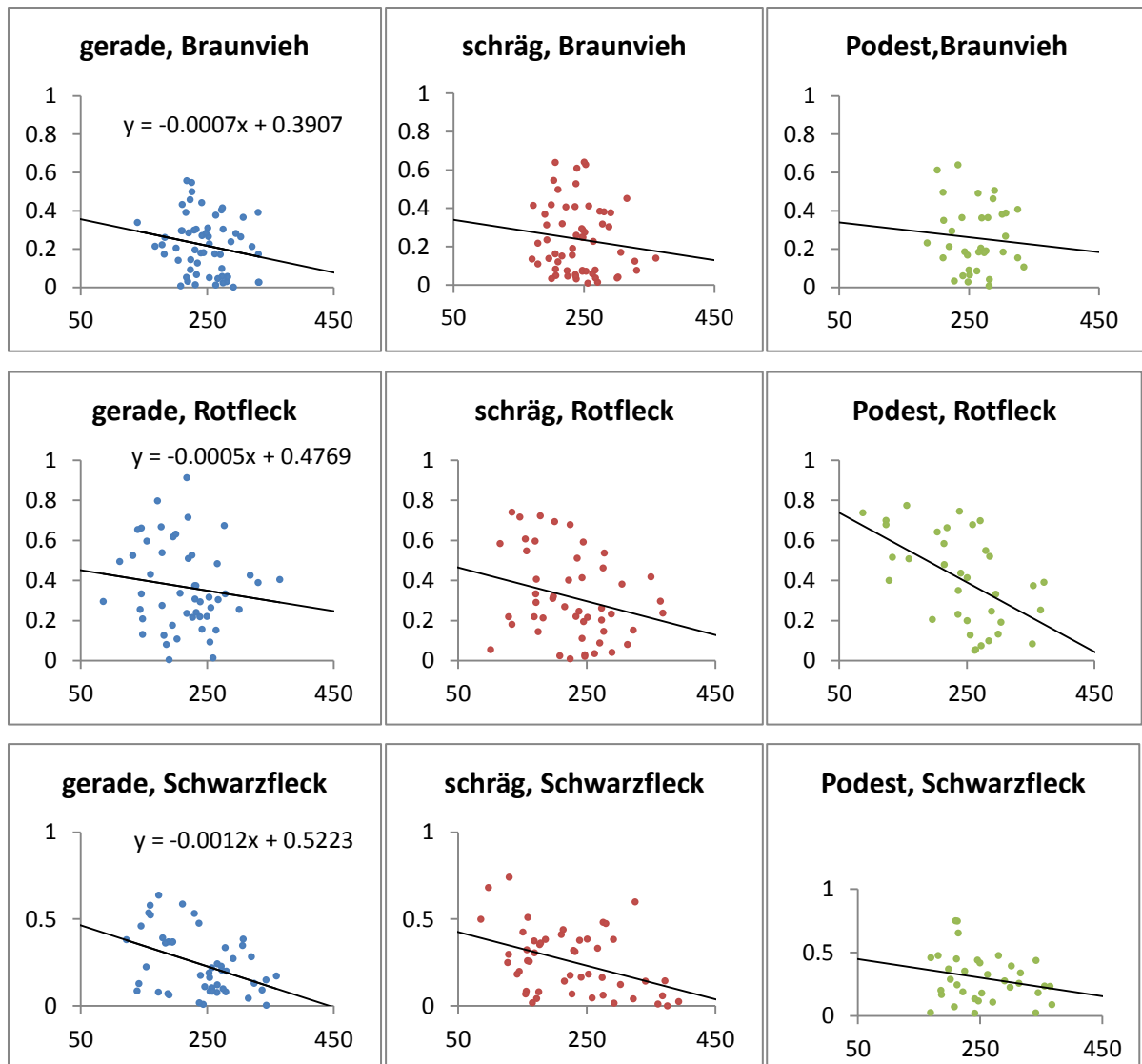


Abb. 11 Lastverteilung rechts-links vs. Abstand der Vorderbeine, nach Klauenpflege, getrennt nach Rasse und Position

Die Körpermasse eines Tieres hatte einen statistisch signifikanten Einfluss auf den Abstand der Vorderbeine (vor Klauenpflege $p=0.0035$; nach Klauenpflege $p=0.0019$) (Abb. 12 und 13). Je höher die Körpermasse, desto grösser war der Abstand der Vorderbeine. An den Hinterbeinen gab es keinen statistisch signifikanten Einfluss vor ($p=0.0628$), aber eine Tendenz zur Signifikanz nach Klauenpflege ($p=0.0535$).

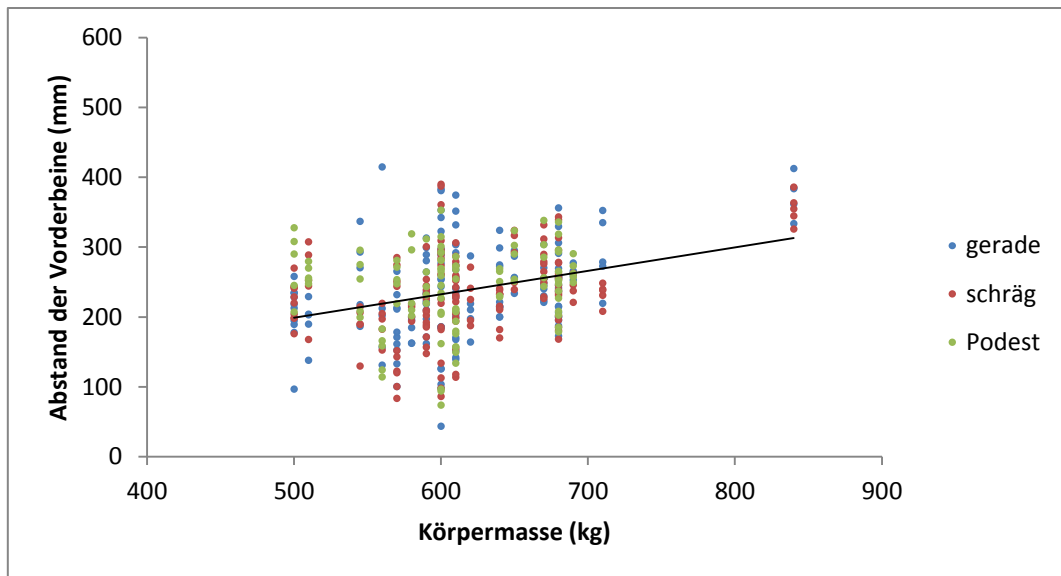


Abb. 12 Körpermasse vs. Abstand der Vorderbeine vor Klauenpflege bei verschiedenen Positionen

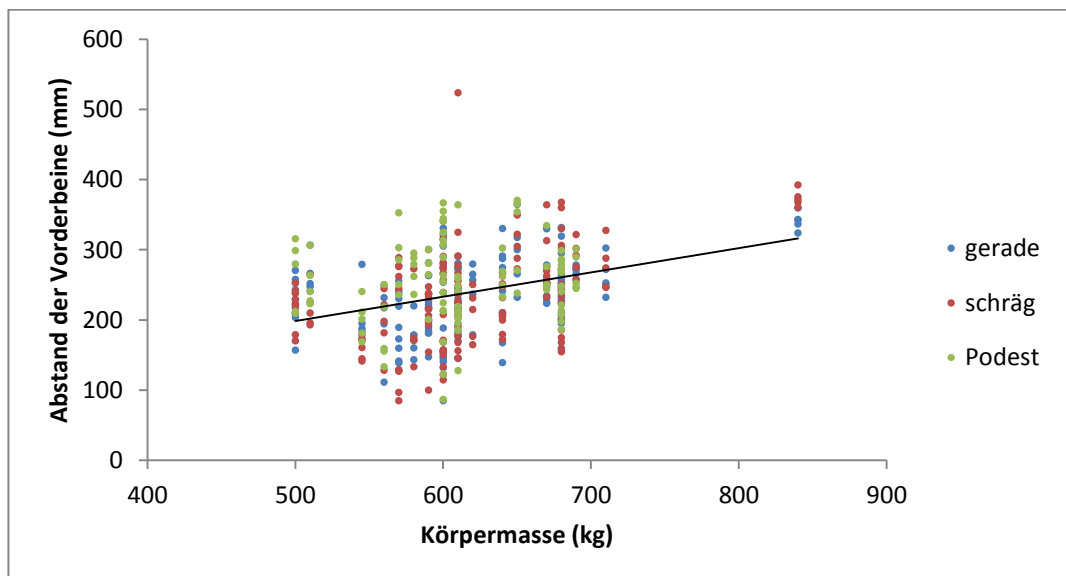


Abb. 13 Körpermasse vs. Abstand der Vorderbeine nach Klauenpflege bei verschiedenen Positionen

Die Milchleistung hatte einen statistisch signifikanten Einfluss auf den Abstand der Hinterbeine (vor Klauenpflege $p=0.0022$; Abb. 14) und zeigte eine Tendenz zur Signifikanz nach Klauenpflege ($p=0.068$; Abb. 15). An den Vorderbeinen ergab sich kein Einfluss der Milchleistung auf den Abstand zwischen den Gliedmassen (vor Klauenpflege $p=0.868$; nach Klauenpflege $p=0.9466$).

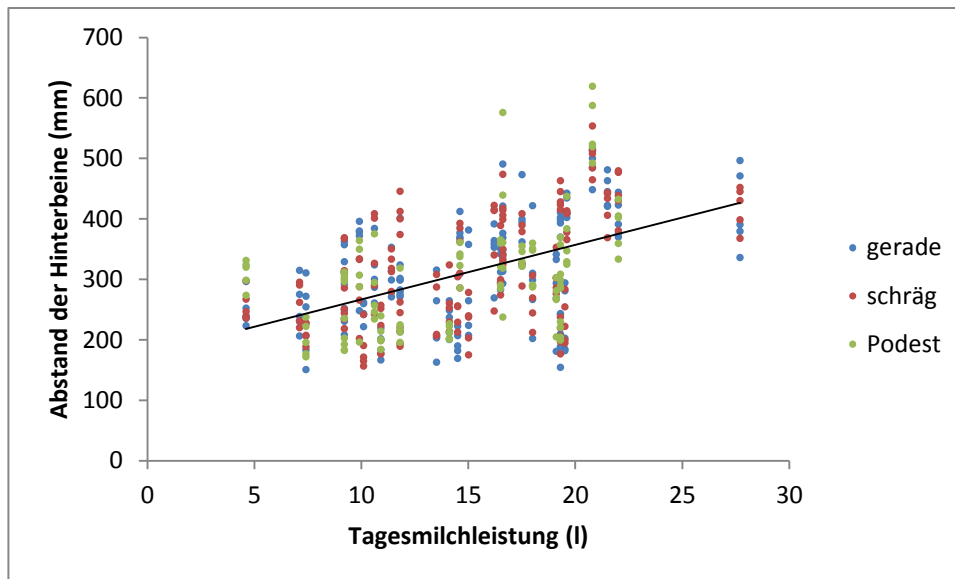


Abb. 14 Tagesmilchleistung vs. Abstand der Hinterbeine vor Klauenpflege bei verschiedenen Positionen

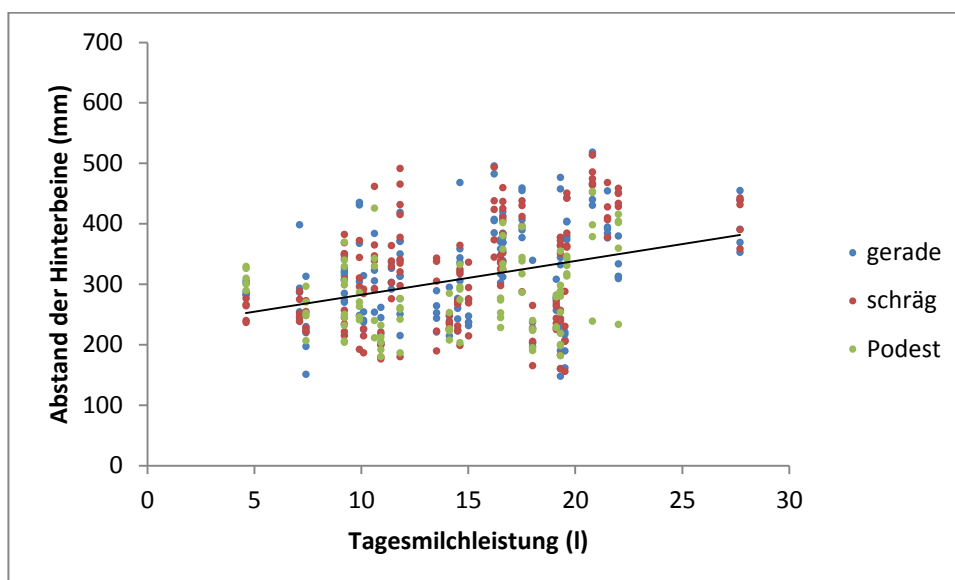


Abb. 15 Tagesmilchleistung vs. Abstände der Hinterbeine nach Klauenpflege bei verschiedenen Positionen

Bei allen Berechnungen zeigte sich, dass der Faktor der „Wiederholungsmessung“ stets einen statistisch signifikanten Einfluss hatte (jeweils $p > 0.01$). Es lag demnach eine sehr breite Streuung der Daten vor.

6.2. (b) Lastverteilung AK-IK vs. Lastverteilung rechts-links

Zur Fragestellung, ob die Lastverteilung zwischen linkem und rechtem Bein (von Schulter- oder Beckengliedmassen) einen Einfluss auf die Lastverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen hatte, wurden folgende Berechnungen

erhoben: Die absoluten Werte der Summe der Kraft (N) der Aussenklauen eines Beinpaars wurden subtrahiert von den absoluten Werten der Summe der Kraft (N) der Innenklauen dieses Beinpaars. Auch hier war nicht die Richtung der Gewichtskraftverlagerung entscheidend, sondern wie stark sie ausfiel. Dieser berechnete Wert wurde dem absoluten Wert der Differenz der relativen Gewichtskraftverteilung des rechten und linken Beines gegenübergestellt.

Auch hier wurden die Parameter in einem zweistufigen hierarchischen Model untersucht. Zunächst wurden die „fixed“ und „random effects“ verglichen und in einem zweiten Schritt die „fixed effects“ alleine analysiert.

Die Differenz der Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Bein hatte einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Lastverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen der jeweiligen Gliedmassen (an den Vorderbeinen nach Klauenpflege $p=0.0312$ (Abb. 16), an den Hinterbeinen vor Klauenpflege $p=0.0151$ (Abb. 17), und an den Hinterbeinen nach Klauenpflege $p=0.0013$ (Abb. 18)), jedoch nicht an den Vorderbeinen vor Klauenpflege ($p=0.6462$). Für die statistisch signifikanten Ergebnisse kann man folgern: An den Vordergliedmassen wurde mit ungleichmässigerer Lastverteilung (also mit mehr einseitiger Belastung) zwischen rechtem und linkem Bein die Lastverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen gleichmässiger. Jedoch bestand dieser statistisch signifikante Zusammenhang nur nach Klauenpflege ($p=0.0312$) (Abb.16).

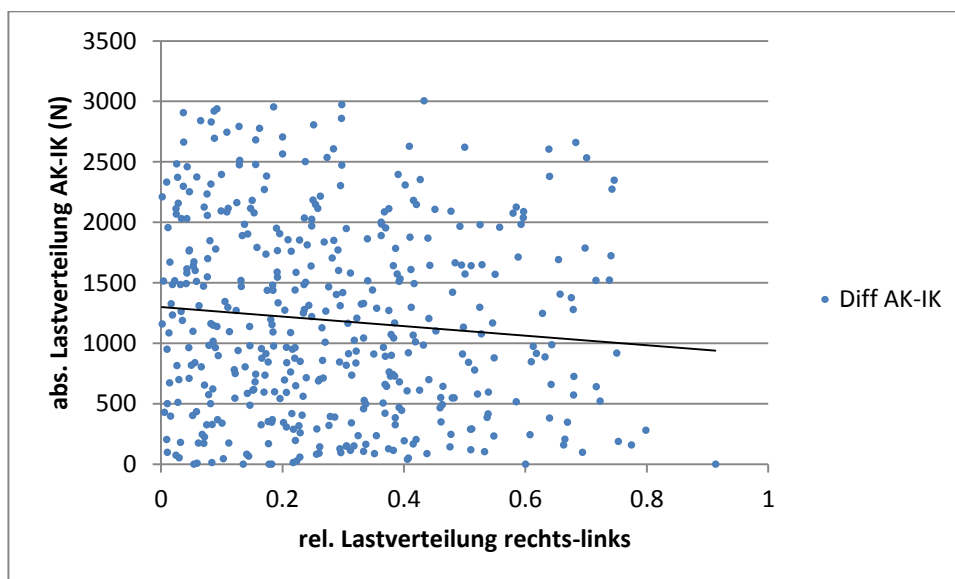


Abb. 16 Lastverteilung der Vorderbeine AK-IK vs. Lastverteilung rechte linke Gliedmasse, nach Klauenpflege

Für die Hinterbeine kann man folgern: je gleichmässiger die Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Bein eines Beinpaars war, desto gleichmässiger war auch die Lastverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen der Hintergliedmassen.

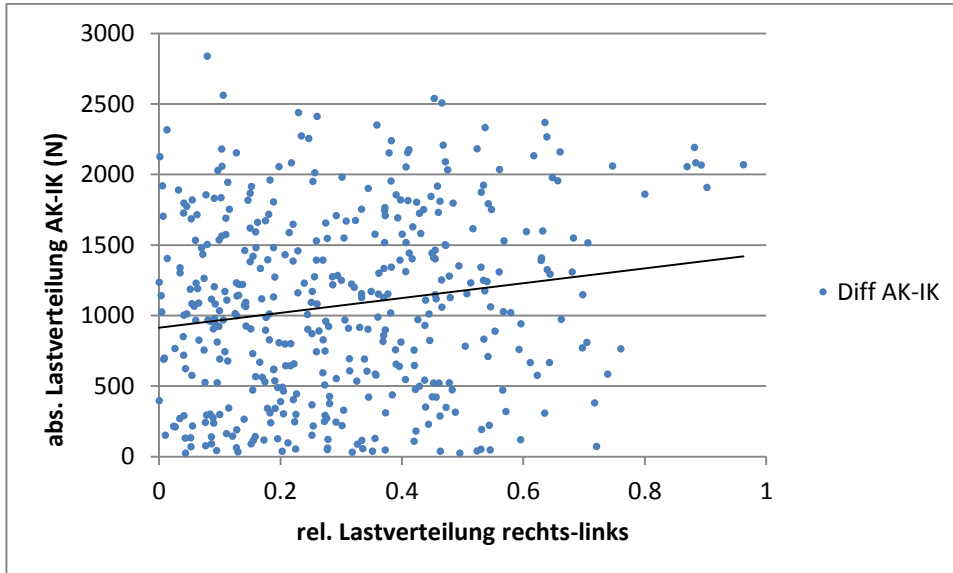


Abb. 17 Lastverteilung der Hinterbeine AK-IK (Aussenklauen – Innenklauen) vs. relative Lastverteilung rechte linke Gliedmasse, vor Klauenpflege

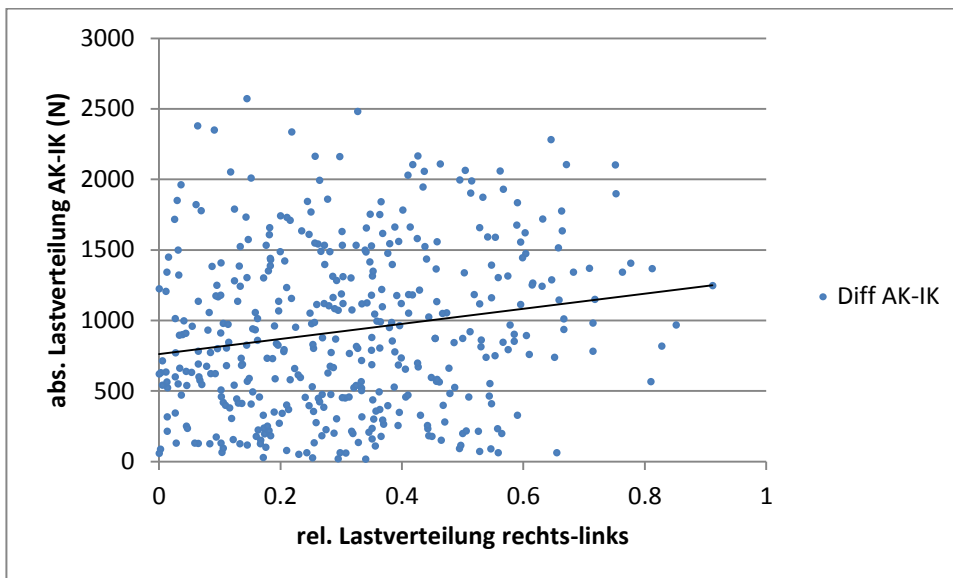


Abb.18 absolute Lastverteilung der Hinterbeine AK-IK (Aussenklauen – Innenklauen) vs. relative Lastverteilung rechte linke Gliedmasse, nach Klauenpflege

Aufbauend auf den bisherigen Untersuchungen wurden zur Vereinfachung im Folgenden die Kühe aller Rassen und Körpermassen zusammengefasst betrachtet, jedoch wurde weiter getrennt nach Position und Klauenpflegestatus untersucht.

6.2. (c) Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterbeinen

Die Kraftverteilung zwischen den Vorder- und Hinterbeinen unterschied sich immer signifikant ($p > 0.001$). Im Median (bei allen Positionen, vor und nach Klauenpflege zusammengefasst) trugen die Vorderbeine 53.7% und die Hinterbeine 46.3% (IQR 1.3%) der Gewichtslast (Abb. 19).

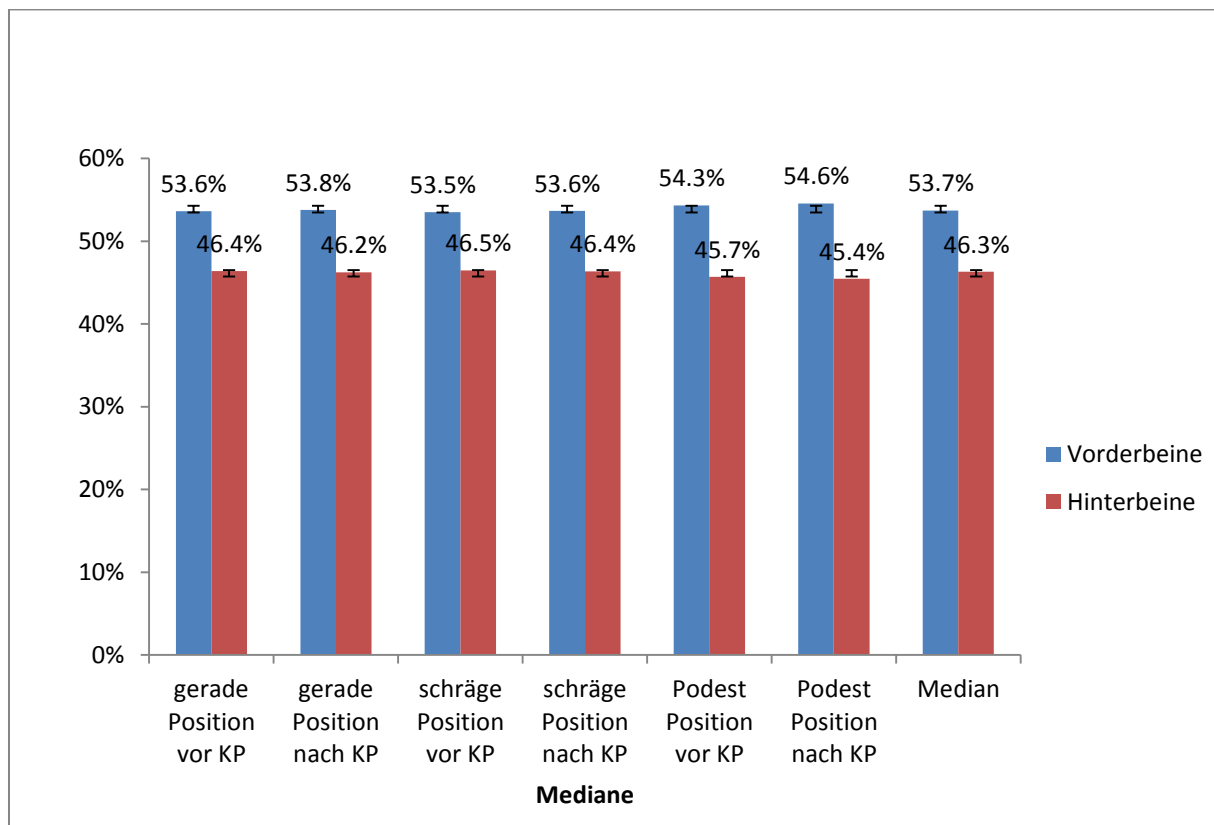


Abb. 19 Prozentuale Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterbeinen bei verschiedenen Positionen vor und nach Klauenpflege

6.2. (d) Kraftverteilung zwischen rechtem und linkem Bein

Die Kraftverteilung zwischen rechtem und linkem Bein stellte sich für die Schulter- bzw. Beckengliedmasse wie folgt dar (Abb. 20):

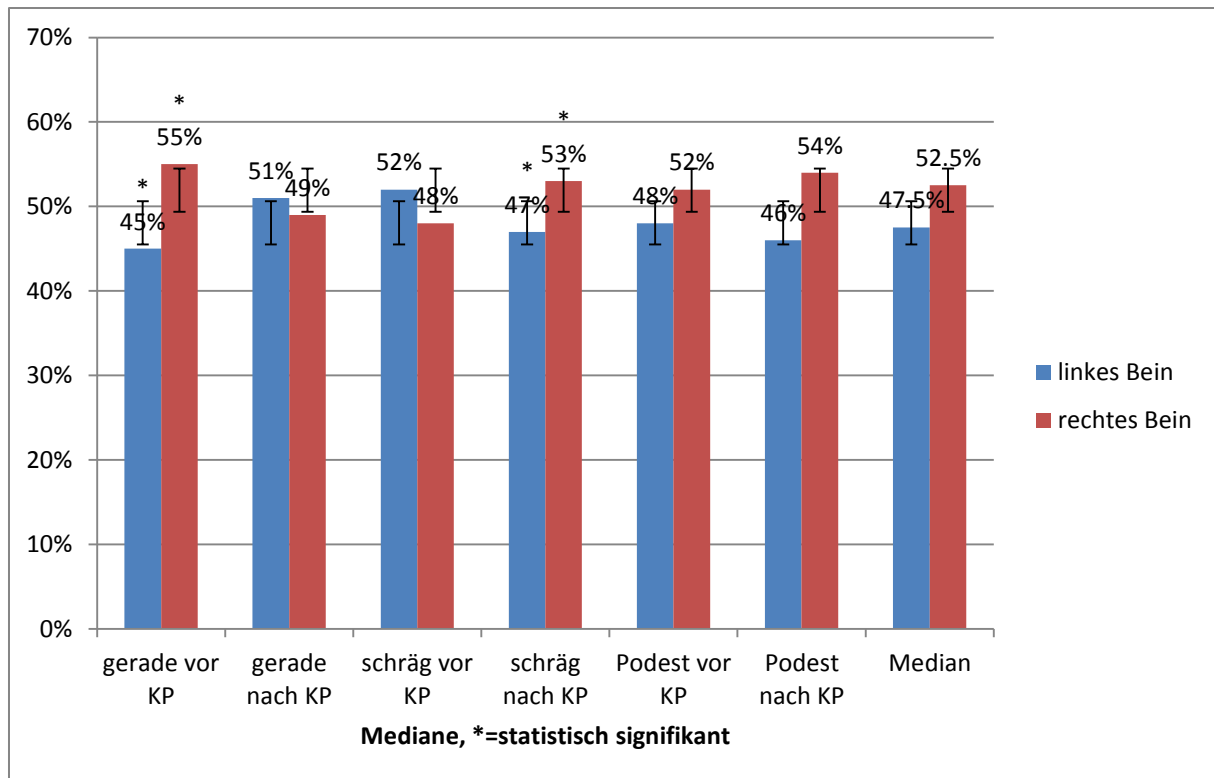


Abb. 20 Prozentuale Gewichtskraftverteilung zwischen linkem und rechtem Bein der Schultergliedmassen bei verschiedenen Positionen vor und nach Klauenpflege (KP).

An den Vorderbeinen wurde öfter die rechte mehr als die linke Gliedmasse belastet. Einen statistisch signifikanten Unterschied machte dies bei den Positionen «gerade» vor der Klauenpflege (45% links, 55% rechts, IQR 28%, $p=0.001$) sowie «schräg» nach der Klauenpflege (47% links, 53% rechts, IQR 26%, $p=0.037$). Im Median betrug der Unterschied zwischen linkem und rechtem Bein an den Gliedmassen der Schultergliedmasse 47.5% links zu 52.5% rechts (IQR 27%).

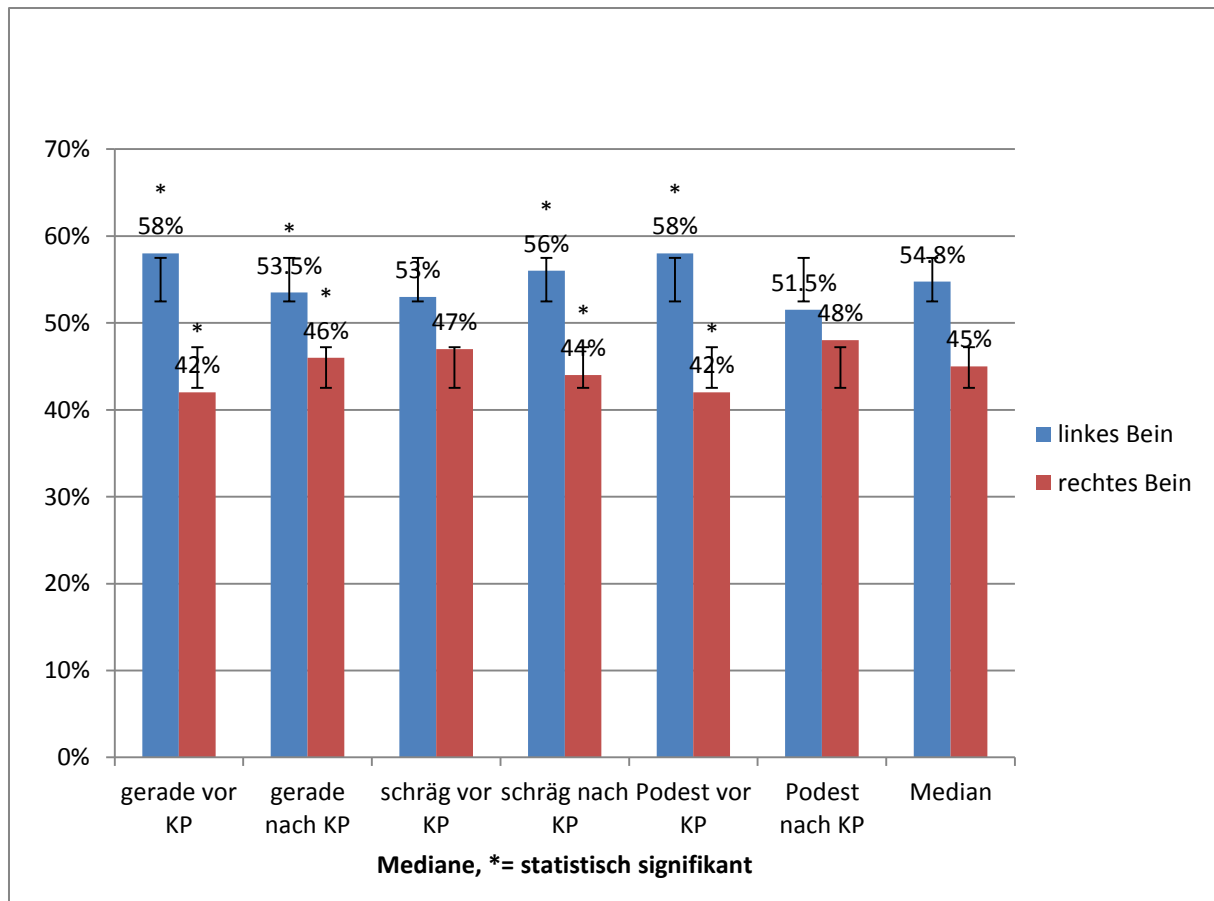


Abb. 21 Prozentuale Gewichtskraftverteilung zwischen linkem und rechtem Bein der Beckengliedmassen bei verschiedenen Positionen vor und nach Klauenpflege

An den Beckengliedmassen wurde stets das linke Bein mehr belastet als das rechte (Abb. 21). Einen statistisch signifikanten Unterschied machte dies bei den Positionen „gerade vor Klauenpflege“ (58% links, 42% rechts, IQR 27%, $p < 0.001$), „gerade nach Klauenpflege“ (54% links, 46% rechts, IQR 34%, $p = 0.040$), „schräg nach Klauenpflege“ (56% links, 44% rechts, IQR 31%, $p = 0.031$) sowie „Podest vor Klauenpflege“ (58% links, 42% rechts, IQR 32%, $p = 0.048$). Im Median betrug die Gewichtskraftverteilung zwischen linker und rechter Beckengliedmasse 55% links zu 45% rechts (IQR 31%).

6.2. (e) Kraftverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen

Die Kraftverteilung zwischen den Aussen- und Innenklauen stellte sich wie folgt dar:

An den Vordergliedmassen wurden stets die Innenklauen mehr belastet als die Aussenklauen. Bei jeder Position und unabhängig vom Klauenpflegezustand war der Unterschied statistisch signifikant ($p < 0.001$; Abb. 22).

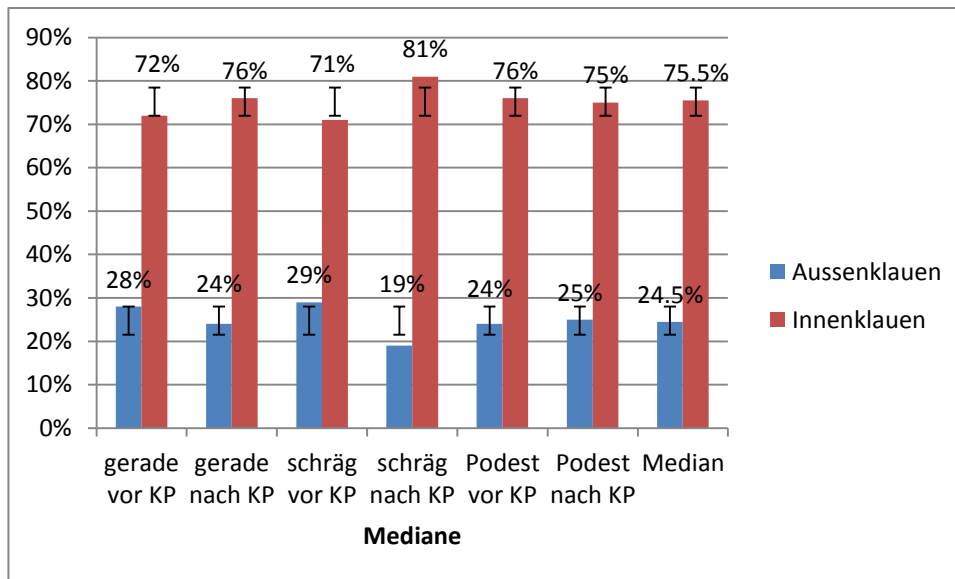


Abb. 22 Prozentuale Gewichtskraftverteilung zwischen den Innen- und Aussenklauen der Vordergliedmassen bei verschiedenen Positionen vor und nach Klauenpflege

Im Median wurden die Aussenklauen zu 24.5% und die Innenklauen zu 75.5% (IQR 36%) belastet.

An den Klauen der Hintergliedmassen war die Belastungssituation genau umgekehrt. Dort waren stets die Aussenklauen mehr belastet als die Innenklauen (Abb. 23). Diese Asymmetrie war bei jeder Position und jedem Klauenpflegestatus statistisch signifikant ($p < 0.001$). Ein Unterschied vor und nach Klauenpflege war bei den Positionen gerade und schräg festzustellen (siehe Kap. 6.3.).

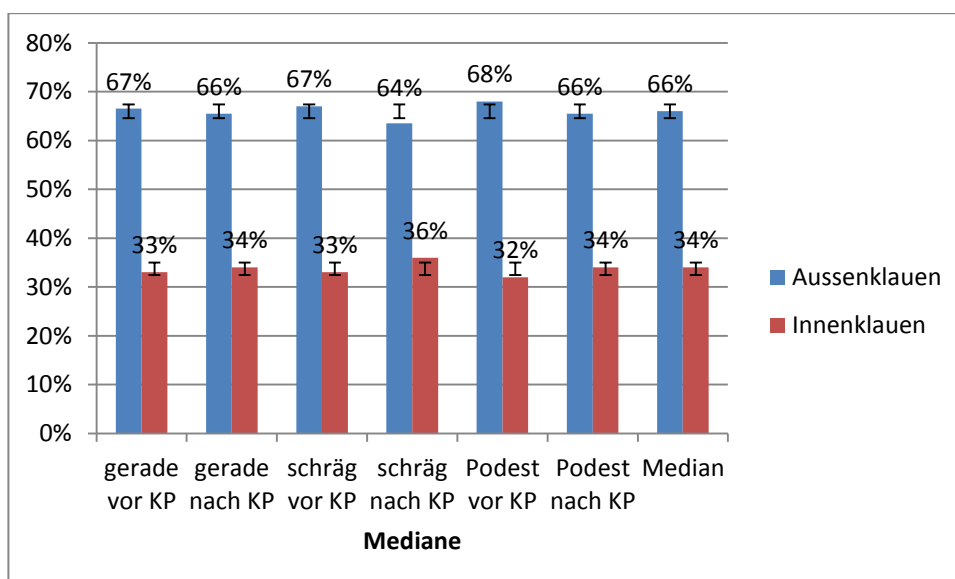


Abb. 23 Prozentuale Gewichtskraftverteilung zwischen Aussen- und Innenklauen der Hintergliedmassen bei verschiedenen Positionen vor und nach Klauenpflege

Im Median (alle Positionen zusammengefasst) waren die Aussenklauen der Hintergliedmassen zu 66% und die Innenklaue zu 34% (IQR 29%) belastet.

Als Übersicht soll hier nochmals die Belastung der Aussen- und Innenklauen der Vorder- bzw. Hintergliedmassen bei allen Positionen sowie vor und nach Klauenpflege zusammengefasst dargestellt werden (Abb. 24).

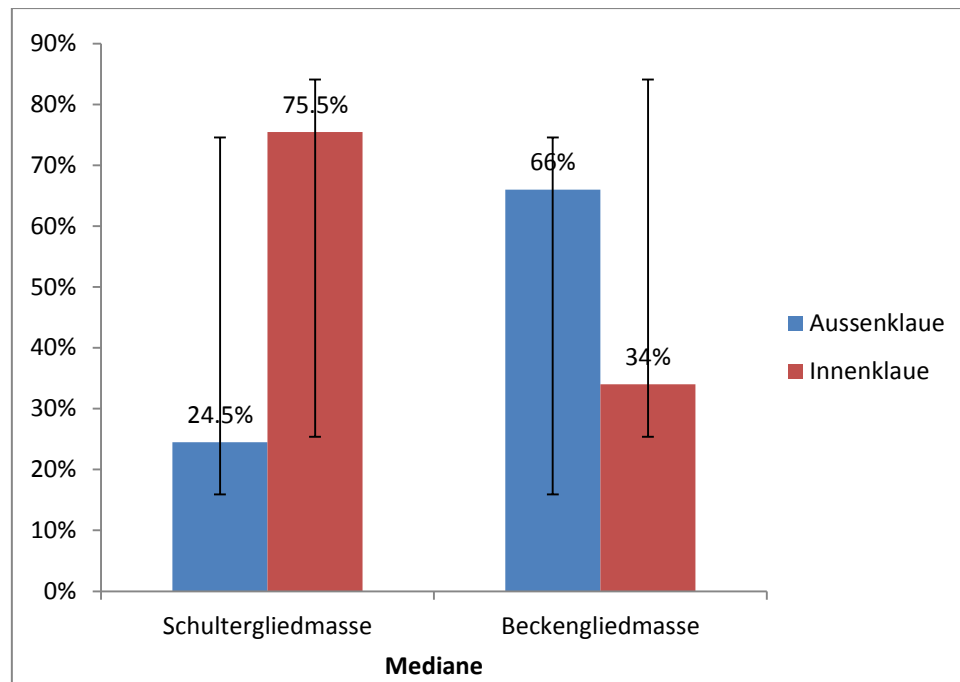


Abb. 24 Prozentuale Kraftverteilung zwischen Innen und Aussenklauen der Schulter- und Beckengliedmassen (Mediane inklusive Standardabweichungen) bei zusammengefassten Positionen

6.3. Änderung der Kraftverteilung an den Klauen bei vorne erhöhter Standfläche

6.3. (a) Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterbeinen bei Positionswechsel

Ein Positionswechsel von geradem Stand zu «Podestposition» sowie vom schrägem Stand zur «Podestposition» hatte einen statistisch signifikanten Unterschied der Verteilung der Belastung zwischen Vorder- und Hinterbeinen zu Folge ($p < 0.001$) (Abb. 25 und 26). Dagegen hatte die um 3 % geneigte Standfläche keinen nachweisbaren Einfluss auf die Gewichtskraftverteilung. Bei einem Wechsel zur «Podestposition» wurden stets die Vorderbeine mehr belastet. Bei geradem Stand wurden die Vordergliedmassen zu 53.7% und die Hintergliedmassen zu 46.3% (IQR 1.4%, $p < 0.001$) belastet; beim erhöhten Stehen der Vordergliedmassen auf einem 25 cm hohem Podest wurden die Gewichtskräfte signifikant auf die

Vordergliedmassen verlagert. Nun lasteten 54.4% auf den Vorderbeinen und 45.6% (IQR 1.3%, $p<0.001$) auf den Hinterbeinen.

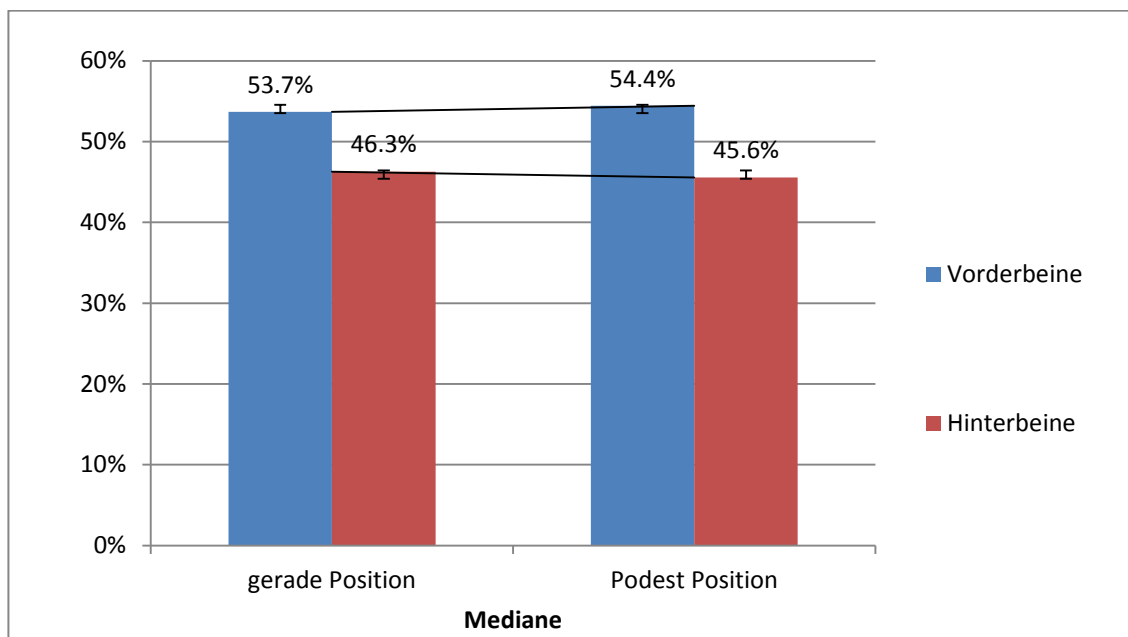


Abb. 25 Prozentuale Kraftverteilung (Mediane, Standardabweichungen) zwischen Vorder- und Hinterbeinen bei Wechsel von gerader zu «Podestposition»

Bei dem Wechsel von schrägem Stand zur «Podestposition» änderten sich die Kraftverteilungsverhältnisse gleichsinnig und gleich stark (Abb. 26), nämlich von 53.6% (Vorderbeine) zu 46.4% (Hinterbeine) (IQR 1.4%, $p<0.001$) bei schrägem Stand zu 54.4% (Vorderbeine) und 45.6% (Hinterbeine) bei der «Podestposition» (IQR 1.3%, $p<0.001$).

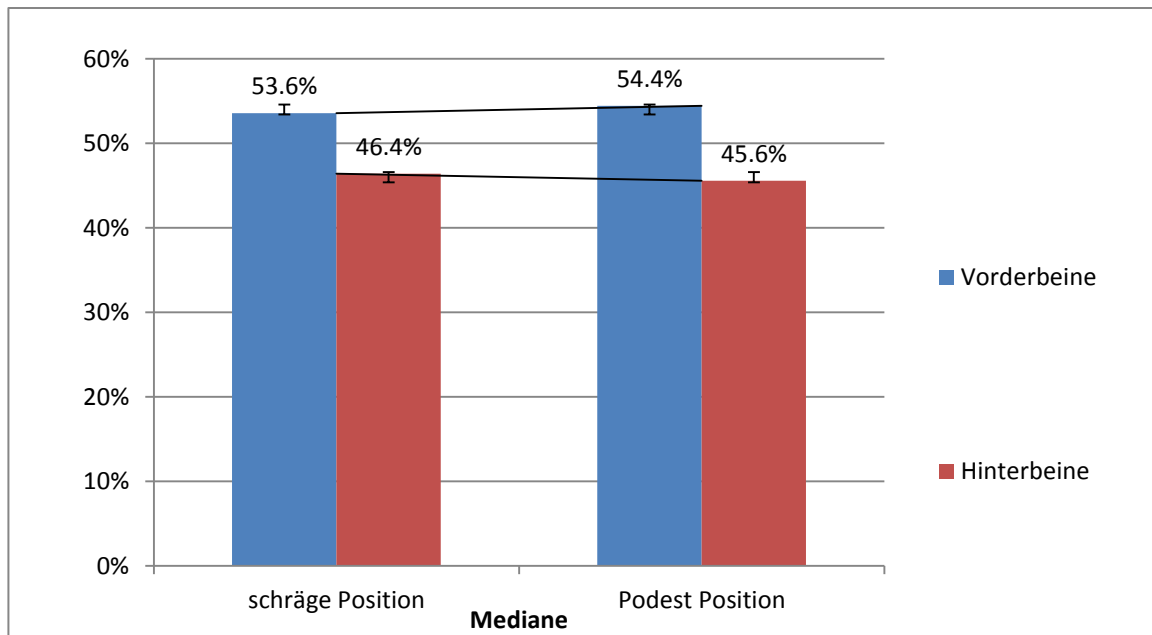


Abb. 26 Prozentuale Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterbeinen (Mediane, Standardabweichungen) bei Wechsel von schräger zu «Podestposition»

6.3.(b) Kraftverteilung zwischen linkem und rechtem Bein bei Positionswechsel

Beim Wechsel der Position gab es auch einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Belastung des rechten und des linken Beins, sowohl für die Vorder- als auch für die Hintergliedmassen vor der Klauenpflege ($p=0.021$) (Abb. 27 und 28). An den Vordergliedmassen betrug die Gewichtskraftverteilung 45% (links) und 55% (rechts; IQR 28%, $p=0.021$). Bei schrägem Stand glich sich die Ungleichheit aus und es wurde nun das linke Bein mehr belastet (52%-48%, IQR 27%, $p=0.021$) (Abb. 27).

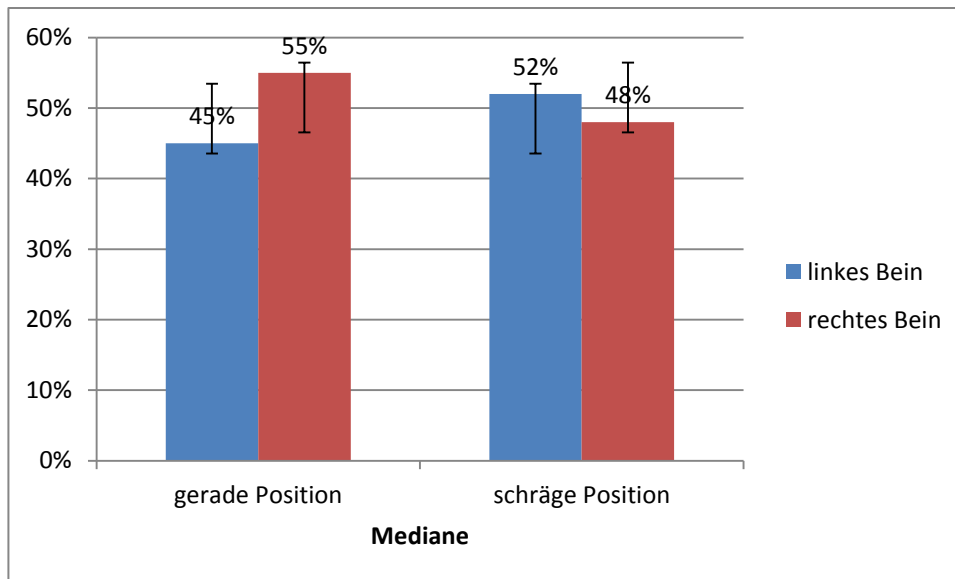


Abb. 27 Prozentuale Gewichtskraftverteilung zwischen linkem und rechtem Vorderbein bei Positionswechsel von geradem zu schrägem Stand (Mediane, Standardabweichungen).

An den Hintergliedmassen betrug die Kraftverteilung 58% (links) und 42% rechts (IQR 27%, $p=0.002$). Beim Wechsel zur schrägen Position wurde das linke Hinterbein zu 53% und das rechte Hinterbein zu 47% (IQR 27%, $p=0.002$) belastet (Abb. 28). Das bedeutete, dass die Last besser auf die Beine verteilt war.

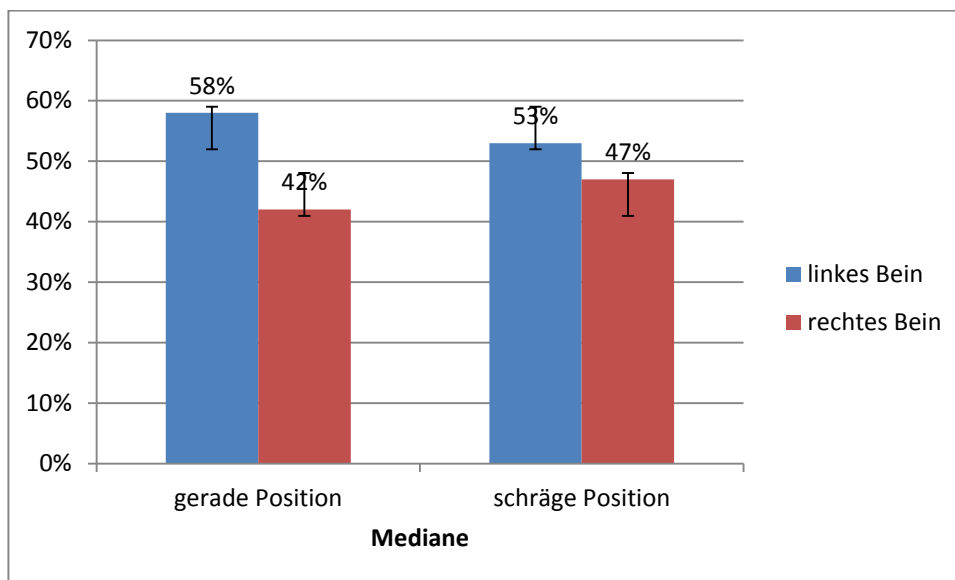


Abb. 28 Prozentuale Gewichtskraftverteilung zwischen linkem und rechtem Hinterbein beim Wechsel von gerader zu schräger Position (Mediane, Standardabweichungen)

Nach Klauenpflege gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Belastung des rechten und linken Beines, sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmassen.

6.3.(c) Kraftverteilung zwischen Innen und Aussenklauen bei Positionswechsel

Zuletzt wurde noch untersucht, wie sich das Belastungsverhältnis Aussen- zu Innenklauen bei Positionsänderung verhielt. Dabei war nur eine Positionsänderung an den Vordergliedmassen, beim Wechsel von geradem Stand zu schrägem Stand (vor und nach der Klauenpflege), statistisch signifikant (vor Klauenpflege $p=0.002$; nach Klauenpflege $p<0.001$) (Abb. 29):

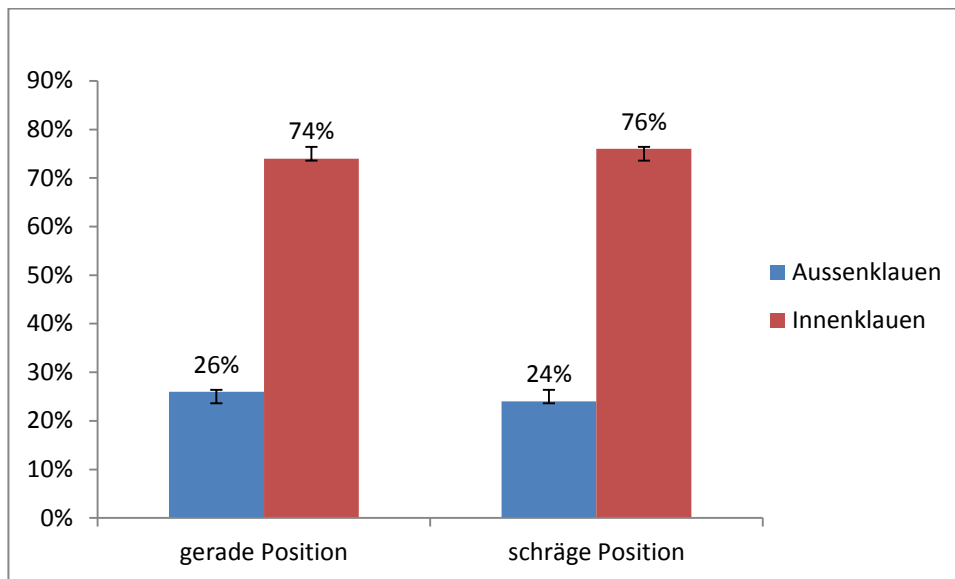


Abb. 29 Prozentuale Kraftverteilung zwischen Innen- und Aussenklauen der Vorderbeine beim Wechsel von gerader zu schräger Position (Mediane und Standardabweichungen)

Bei schrägem Stand wurden die Innenklauen noch stärker belastet (76%, IQR 34%) als bei geradem Stand (74%, IQR 36%). Für alle anderen Positionsänderungen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

6.4. Änderung der Kraftverteilung an den Klauen nach Klauenpflege

Bei dieser Fragestellung wurde insbesondere untersucht, ob sich das Verhältnis Aussen- zu Innenklauen nach der Klauenpflege änderte.

An den Vorderbeinen gab es keine signifikante Änderung der Belastungsverhältnisse zwischen den Innen- und Aussenklauen, aber eine signifikante Änderung zwischen der Belastung des linken und des rechten Beines bei gerader Standfläche ($p=0.036$) (Abb. 30):

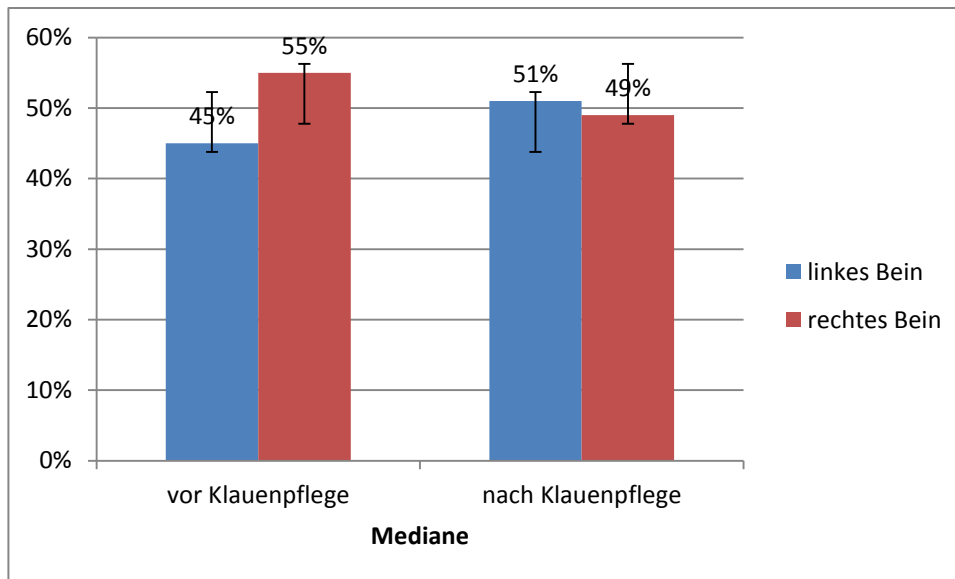


Abb. 30 Prozentuale Kraftverteilung zwischen linken und rechtem Vorderbein vor und nach Klauenpflege (Mediane und Standardabweichungen)

Vor der Klauenpflege wurde das linke Bein weniger (45%, IQR 28%, $p=0.036$) und nach der Klauenpflege mehr (51%, IQR 27%, $p=0.036$) als das rechte Bein belastet.

An den Hintergliedmassen gab es einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Innen- und Aussenklauen nach der Klauenpflege (Abb. 31). Dieser trat bei gerader ($p=0.016$) und schräger Position ($p=0.011$) auf:

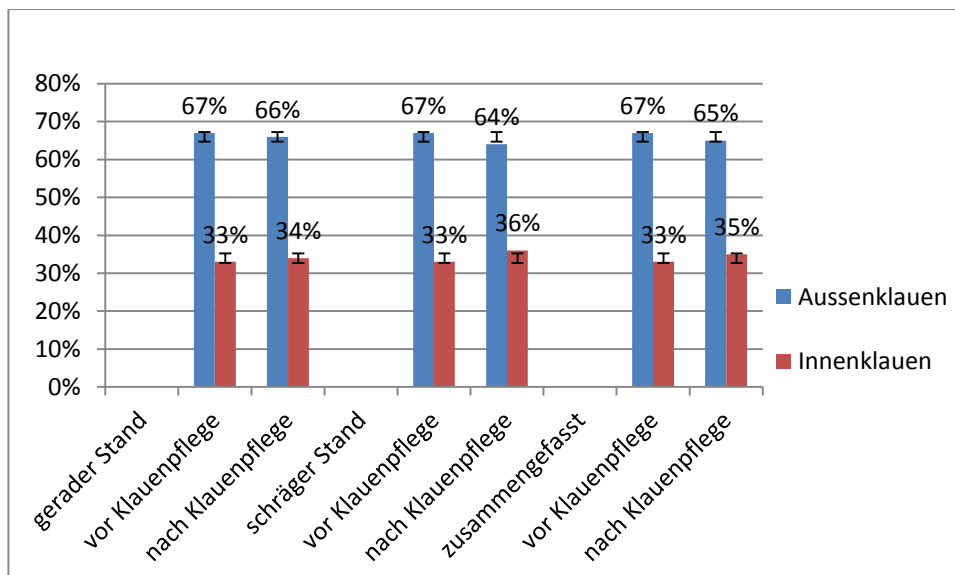


Abb. 31 Prozentuale Kraftverteilung zwischen Aussen und Innenklauen der Beckengliedmassen vor und nach Klauenpflege (Mediane und Standardabweichungen)

Nach der Klauenpflege war die Belastung zwischen Innen- und Aussenklauen stets ausgeglichener als vor der Klauenpflege. Bei geradem Stand betrug die Verteilung 67% (AK) zu 33% (IK) (IQR 31%) vor der Klauenpflege und 66% (AK) zu 34% (IK) (IQR 30%) nach der Klauenpflege. Bei schrägem Stand betrug die Verteilung 67% (AK) zu 33% (IK) (IQR 32%) vor der Klauenpflege und 64% (AK) zu 36% (IK) (IQR 28%) nach der Klauenpflege. Fasst man beide Positionen (gerader und schräger Stand) zusammen so erhält man eine Verteilung von 67% (AK) zu 33% (IK) (IQR 31%) vor der Klauenpflege und 65% (AK) zu 35% (IK) (IQR 29%) nach der Klauenpflege.

6.5. Änderung der Dorsalwandlänge nach Klauenpflege

Die Länge der Dorsalwand (cm) wurde vor und nach Klauenpflege erhoben:

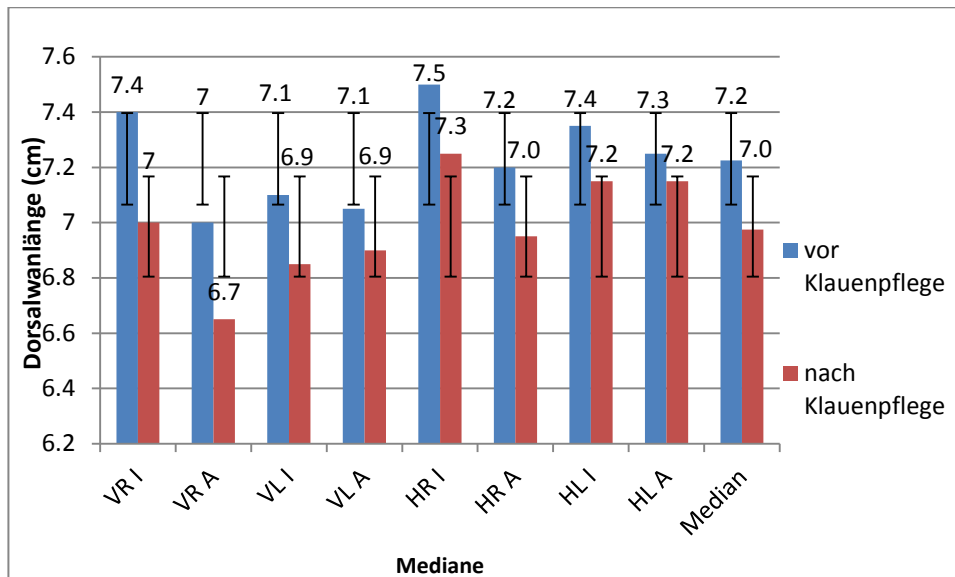


Abb.32 Dorsalwandlänge (cm) der Klauen vor und nach Klauenpflege

Nach der Klauenpflege war die Dorsalwandlänge stets geringer als vor der Klauenpflege ($p < 0.001$) (Abb. 32, Tab. 2). Dieser Unterschied war stets signifikant. So betrug eine Dorsalwandlänge im Median 7.2 cm (IQR 0.9 cm) vor der Klauenpflege und 7.0 cm (IQR 0.6 cm) nach der Klauenpflege. An den Vordergliedmassen wurde die Dorsalwand durch Klauenpflege im Schnitt 0.3 cm kürzer, an den Hintergliedmassen um 0.2 cm kürzer.

Tab. 2: Dorsalwandlängen (Median) der einzelnen Klauen jeweils vor und nach Klauenpflege in cm ((Interquartilsabstand (IQR), Minimum (Min.), Maximum (Max.))

Klauen	Vor Klauenpflege	nach Klauenpflege
IK VR	7.4 (IQR 0.8, Min. 6.1, Max. 8.5)	7.0 (IQR 0.6 , Min. 6, Max. 8.4)
AK VR	7.0 (IQR 0.7, Min. 5.7, Max. 8.1)	6.7 (IQR 0.6, Min. 5.5, Max. 7.8)
IK VL	7.1 (IQR 0.85, Min. 6, Max. 8.5)	6.9 (IQR 0.5) , Min. 5.7, Max. 7.6)
AK VL	7.1 (IQR 0.65, Min. 5.8, Max. 8.2)	6.9 (IQR 0.7, Min. 5.6, Max. 7.6)
IK HR	7.5 (IQR 0.8, Min. 6.3, Max. 8.8)	7.3 (IQR 0.7, Min. 6, Max. 8.2)
AK HR	7.2 (IQR 0.75, Min. 6.4, Max. 9)	7.0 (IQR 0.5, Min. 6.3, Max. 8.4)
IK HL	7.4 (IQR 1.025, Min. 6.5, Max. 8.9)	7.2 (IQR 0.7, Min. 6.3, Max. 8.1)
AK HL	7.3 (IQR 0.5, Min. 6.4, Max. 8.8)	7.2 (IQR 0.5, Min. 6.1, Max. 7.9)

IK = Innenklaue, AK = Aussenklaue, V = Vordergliedmasse, H = Hintergliedmasse, L = links, R = rechts.

6.6. Änderung des Winkels der Dorsalwand nach Klauenpflege

Der Winkel der Dorsalwand wurde vor und nach der Klauenpflege ermittelt:

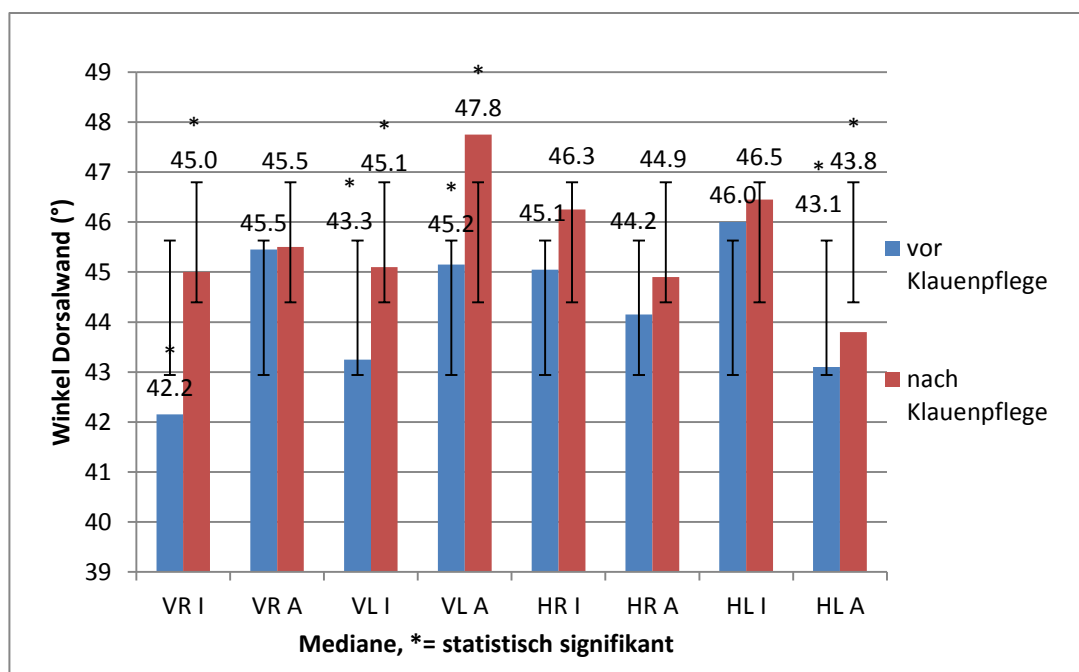


Abb. 33 Winkel der Dorsalwand der Klauen vor und nach Klauenpflege

Die Dorsalwand war bei allen Klauen nach der Klauenpflege steiler als vorher (Abb. 33). Statistisch signifikant war dies bei den Innenklauen der rechten (42. 2° vor KP (IQR 6.3°), 45.0° nach KP (IQR 5.6°) $p<0.001$) und linken Schultergliedmasse (43.3° (IQR 4.9°) vor KP und 45.1° (IQR 4.9°) nach KP, $p<0.001$), den Aussenklauen der linken Schultergliedmasse (45.2° (IQR 8.3°) vor KP und 47.8° (IQR 6.2°) nach KP, $p=0.016$) sowie an den Aussenklauen der linken Hintergliedmasse (43.1° (IQR 4.4°) vor KP und 43.8° (IQR 6.1°) nach KP, $p=0.021$).

Die Innenklauen der Vordergliedmassen wiesen stets kleinere Winkel als die Aussenklauen auf. An den Hintergliedmassen war dies umgekehrt (Tab. 3).

Tab. 3: Dorsalwandwinkel der Innen- und Aussenklauen (in Grad (Median); Interquartilsabstand (IQR); Minimum; Maximum), rechte und linke Gliedmasse zusammengefasst.

Klauen	Vor Klauenpflege	Nach Klauenpflege
IKV	43.0 (IQR 5; Min. 36; Max. 55.7)	45.05 (IQR 5.5; Min. 37.8; Max. 65)
AKV	45.3 (IQR 7.1; Min. 38.5; Max. 60)	47.1 (IQR 6.2; Min. 39.8; Max. 61.4)
IKH	45.6 (IQR 6.9; Min. 37.6; Max. 57)	46.4 (IQR 5.7; Min.36; Max. 56)
AKH	43.3 (IQR 5.7; Min. 30; Max. 53.8)	44.1 (IQR 5.8; Min. 39; Max. 55)

IK = Innenklauen, AK = Aussenklauen, V = Vordergliedmasse, H = Hintergliedmasse

6.7. Änderung der Ballenlänge nach Klauenpflege

Die Länge der Ballen wurde ebenfalls vor und nach der Klauenpflege ermittelt. Die Daten der Ballenlänge waren normal verteilt, weshalb bei diesem Diagramm Mittelwerte angegeben sind. Die Ballen waren nach Klauenpflege stets kürzer als vor der Klauenpflege, ausser bei der Innenklaue der linken Vordergliedmasse.

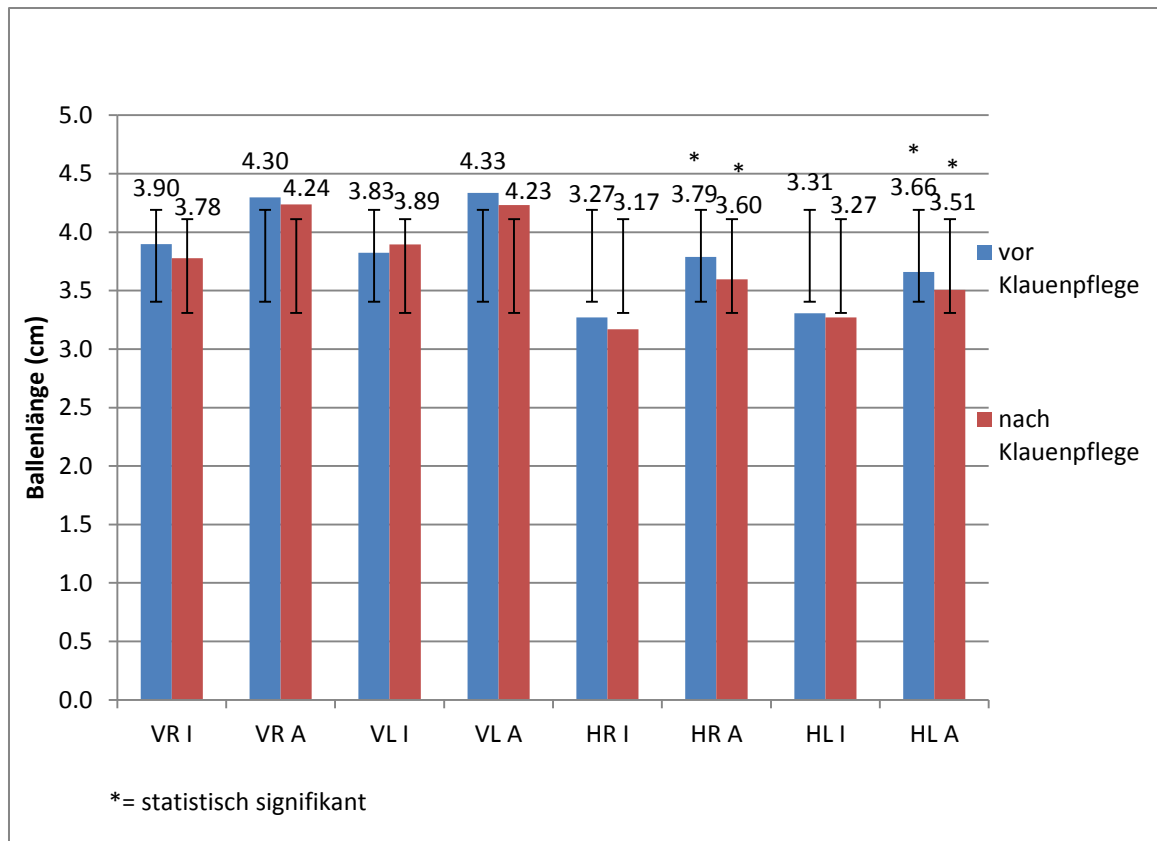


Abb. 34 Ballenlänge (Zahlen geben die Mittelwerte in cm wieder) der Klauen vor und nach Klauenpflege; * statistisch signifikanter Unterschied vor und nach Klauenpflege

Einen statistischen Unterschied gab es bei den Aussenklauen der rechten ($3.79 \text{ cm} \pm 0.58 \text{ cm}$ vor der Klauenpflege und $3.60 \text{ cm} \pm 0.52 \text{ cm}$ nach der Klauenpflege, $p=0.026$) und der linken Beckengliedmasse ($3.66 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ vor der Klauenpflege und $3.51 \text{ cm} \pm 0.41 \text{ cm}$ nach der Klauenpflege, $p=0.036$). Die Ballen waren nach Klauenpflege im Mittel um 0.1 cm kürzer. Die Ballen der Aussenklauen waren stets länger als die der Innenklauen (Tab. 4).

Tab. 4: Ballenlänge (cm, Mittelwerte; Standardabweichung (\pm); Minimum, Maximum) vor und nach Klauenpflege, rechte und linke Gliedmasse zusammengefasst.

Klauen	Vor Klauenpflege	Nach Klauenpflege
Vorne IK	3.9 (\pm 0.5; Min. 2.9; Max. 5.0)	3.8 (\pm 0.4; Min. 2.8; Max. 4.6)
Vorne AK	4.3 (\pm 0.5; Min. 3.2; Max. 5.6)	4.2 (\pm 0.5; Min. 3.3; Max. 5.4)
Hinten IK	3.3 (\pm 0.6; Min. 1.8; Max. 4.7)	3.2 (\pm 0.6; Min. 2.0; Max. 4.4)
Hinten AK	3.7 (\pm 0.54; Min. 2.6; Max. 5.2)	3.6 (\pm 0.5; Min. 2.6; Max. 5.1)

Vorne = Vordergliedmassen, Hinten = Hintergliedmassen, IK = Innenklauen, AK = Aussenklauen

7. Diskussion

7.1. Material und Methodik

Die hier vorgelegte Untersuchung sollte den Einfluss der Positionsänderung und der Klauenpflege auf die Kraft- und Druckbelastung unter den Klauen von laktierenden Kühen untersuchen. Die Druckbelastungen konnten infolge eines schleichenden Verschleisses der Druckmessplatte und eines damit zusammenhängenden Fehlers in der Software nicht zuverlässig registriert werden. Die hier vorgelegte Untersuchung erfasste somit allein die Kraftverhältnisse. Es konnten jedoch nicht alle vier Gliedmassen gleichzeitig, sondern nur beide Vorder- oder beide Hinterbeine simultan gemessen werden.

Die Anzahl der verwendeten Kühe (32) erfolgte in Absprache mit der Abteilung für Epidemiologie und wurde als ausreichend für eine statistische Auswertung festgelegt. Es wurden 5 Wiederholungsmessungen pro Position festgelegt, damit man einen Einblick in das „normale“ Stehmuster der Tiere erhielt, welches sich durch die Varianz zwischen den Wiederholungsmessungen zeigte.

Die Auswahl der Kühe erfolgte nach Laktationsnummer (2. bis 4. Laktation) und Laktationszeitraum (ab 4. Woche post partum bis kurz vor dem Trockenstellen). Die gewählte Anzahl der Laktationen sollte sicherstellen, dass die Kühe nicht zu alt waren, denn mit zunehmendem Lebensalter treten vermehrt Klauenläsionen auf, und repräsentierte die grösste Gruppe der Population der Milchkühe. Der Laktationszeitraum wurde deswegen so gewählt, damit Kühe im Abkalbezeitraum, der viele Belastungen (Trockenstellen, Stoffwechselumstellung, Geburt) mit sich bringt, ausgeschlossen wurden. Auch wenn ein Einfluss auf die Gewichts(mehr)belastung der Hintergliedmassen in der Hochträchtigkeit nicht nachweisbar war, war doch ein vermehrtes Hin- und Herschieben des Gewichts und eine grössere Asymmetrie zwischen rechtem und linken Bein bei hochtragenden Kühen vor der Geburt zu verzeichnen (Chapinal et al., 2009a).

Es wurden nahezu gleich viele Tiere der Rasse Holstein-Friesian, Red Holstein und Brown Swiss verwendet, damit allenfalls ein Einfluss der Rasse untersucht werden konnte. Nach Huth et al. (2004) konnte bei Kälbern eine signifikant unterschiedliche mittlere Druckverteilung beim Vergleich verschiedener Rassen festgestellt werden.

Die letzte Klauenpflege musste mindestens 4 Monate zurückliegen, damit ein genügend grosser Unterschied in der Belastung vor und nach Klauenpflege zu erwarten war. Dieser Zusammenhang wurde in einer Studie von Kehler and Gerwing (2004) belegt, bei denen bei ungefähr der Hälfte der Tiere 4 Monate nach Klauenpflege die gleichen und bei den übrigen ähnliche Kraftverteilungsverhältnisse wie vor der Klauenpflege vorhanden waren.

Weiter mussten Schmerzmedikamente mindestens zwei Tage vor Versuchsdurchführung abgesetzt worden sein, damit sie keinen Effekt (Chapinal et al. (2010b) auf die Kraftverteilung und das Stehmuster der Kühe hatten.

Die meisten der in der hier vorgelegten Untersuchung verwendeten Kühe kamen aus einem Anbindestall. Daher wurde ein Einfluss des Haltungssystems nicht in Erwägung gezogen, sondern lediglich zwischen vor und nach Klauenpflege verglichen. Die Bodenbeschaffenheit von Laufställen hatte allerdings einen signifikanten Einfluss auf die Druckverteilung unter Klauen laktierender Kühe (Telezhenko et al., 2008), auch weil ein unterschiedlicher Abrieb erfolgte.

Die Auswahl der schrägen Position (3% nach kaudal geneigte Standfläche) richtete sich nach dem Versuchsaufbau von Bruderer (2015). Damit sollte die Schräge der Liegefläche in Anbindeställen und teilweise auch in Liegeboxen bei Laufställen nachempfunden werden. Die «Podestposition» sollte ebenfalls praxisähnlichen Bedingungen nachempfunden werden. So ist eine Höhe der Hoch-Liegeboxen von 20-25 cm in Laufställen üblich.

Die Messungen in der hier vorgelegten Untersuchung wurden stets kurze Zeit nach dem Melken durchgeführt. Untersuchungen von Chapinal et al. (2009a) konnten zeigen, dass die Hauptlast der Milch von den Hintergliedmassen getragen wird. Nach dem Melken war die Gewichtsbelastung sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmassen reduziert; jedoch bei den Hintergliedmassen deutlich mehr ($p < 0.001$). Es konnte aber nachgewiesen werden, dass sich die Gewichtsverteilung zwischen den Gliedmassen vor und nach dem Melken nicht änderte. Einige Aspekte des Gangbildes waren nach dem Melken verbessert. Dies unterstützte die Ergebnisse von Flower et al. (2006), die signifikante Verbesserungen bei der Beurteilung des Gangbildes nach dem Melken im Vergleich zu vor dem Melken feststellten (grössere Schrittlänge, höhere Schritthöhe, kürzere Schrittdauer, schnellerer Gang). Um möglichst standardisierte und unbeeinflusste Ergebnisse zu

erhalten, wurden auch in der hier vorliegenden Untersuchung die Messungen nach dem Melken durchgeführt.

Durch den Verschleiss der druckmessenden Sensoren, der im Verlauf der Messungen auftrat und wegen der unveränderten Farbkodierung durch die Software nicht erkennbar war, konnten die Parameter Fläche und Druck nicht zuverlässig ausgewertet werden und sie wurden deswegen ausgeschlossen. Die Zuteilung der Gewichtskräfte zu rechtem und linkem Bein sowie Aussen- und Innenklauen war jedoch uneingeschränkt möglich. Auf die Einteilung in zwei Zonen pro Klaue musste jedoch verzichtet werden; es wurde lediglich die Kraft pro Klaue als kleinste auswertbare Einheit erhoben. Die Daten der Kraftmessplatte wurden mit den Körpermassen, die mit der Brückenwaage gemessen wurde, abgeglichen. Es bestand in allen Fällen eine gute Übereinstimmung, weshalb die Daten verifiziert waren und ausgewertet werden konnten. Auch in anderen Untersuchungen, die mit Druckmessplatten arbeiteten, war ein hoher Verschleiss der Sensoren zu verzeichnen, oder es kam zu „technischen Schwierigkeiten“, so dass Teile der gesammelten Daten nicht ausgewertet werden konnten. So berichteten Pastell et al. (2006), dass der Transducer für so hohe konzentrierte punktuelle Kräfte nicht konzipiert sei und es Probleme beim Reparieren gab. Kujala et al. (2008) stellten technische Verbesserungen zur Diskussion, da die Druckmessplatten regelmässig repariert werden mussten, weil sie unter starker mechanischer Beanspruchung standen. Auch unterschieden sich die erhaltenen Werte zwischen den Publikationen erheblich und einige Autoren stellten auch bei ihren eigenen Ergebnissen eine Abweichung der gemessenen von den tatsächlichen Werten fest. So meinten Distl et al. (1990), dass die Angaben zum mittleren und Maximaldruck mit Vorsicht interpretiert werden müssten und allenfalls mit einem multiplikativen Korrekturfaktor von 1.5 anzunehmen seien. Bei anderen Publikationen gab es erhebliche Unterschiede bei den Ergebnissen. So berichteten van der Tol et al. (2002) bei stehenden Tieren Maximaldrücke von 17 bis 54 N/cm². Huth et al. (2004) stellten schon bei Kälbern Maximaldrücke von mehr als 100 N/cm² fest. Darum meinen Huth et al. (2004), dass die Messergebnisse von van der Tol et al. (2002) als fragwürdig angesehen werden müssten. Ein weiteres Detail, welches in der hier vorgelegten Untersuchung die Detektion des Sensorverschleisses erschwerte, war die Auto-Farbkorrektur der Bilder der Druckmessplatte. Bereits van der Tol et al. (2004), die das gleiche Messsystem und Software verwendeten, berichteten, dass der qualitative

Vergleich vor und nach Klauenpflege schwierig sei, da bei den verschiedenen Bildern die gleiche Farbe ein anderes Druckintervall repräsentierte. Das automatische Ausgleichen der vorhandenen Kräfte pro Sensor lieferte bis zum Schluss bei unseren Messungen zufriedenstellende optische Bilder.

Dies macht deutlich, dass die Technik zwar weit entwickelt ist, dass es aber für die Praktikabilität im Sinne von alltäglicher Anwendung beim Rind noch weitere Entwicklungsschritte braucht.

7.2. Ergebnisse

Die Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Bein variierte zwischen den Messungen sehr stark. Dabei waren nicht nur die interindividuellen Unterschiede gross, sondern auch die der Wiederholungsmessungen. Dies konnte nur nachgewiesen werden, weil jeweils das rechte und linke Bein simultan gemessen wurden. Bei den Messungen von van der Tol et al. (2002, 2003); van der Tol et al. (2004) beispielsweise wurden die Gliedmassen nur einzeln gemessen. Die Autoren betrachteten die Daten des rechten und linken Beins als unabhängig. Aus diesem Grund wollten wir zunächst die Einflussfaktoren eines „normalen“ Standes eruieren.

Eine weitere Überlegung zur Auswertung war, die entstandenen 500 Matrixbilder pro Messung nicht zu mitteln, sondern per Zufallszahl ein Frame auszusuchen. Die Belastungsverhältnisse während der zwei Sekunden dauernden Messungen waren in allen Fällen sehr stabil, da bei Bewegungen der Kühe die Messung verworfen wurde. Ebenso wurden auch die 5 Wiederholungsmessungen nicht gemittelt, sondern flossen als individuelle Messungen in die Auswertungen ein, da wir feststellten, dass gerade bei den Wiederholungsmessungen eine erhebliche Streuung der Daten vorlag und dies zu einer noch grösseren Verzerrung der realen Belastungssituation führen würde. Folglich muss man beim Vergleich mit in der Literatur gefunden Ergebnissen vorsichtig vorgehen, denn bei den meisten Untersuchungen wurden die Messwerte gemittelt.

Als erstes wurde die Frage untersucht, ob bei einem grösseren **Abstand der Gliedmassen** eines Beinpaares die **Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Bein** gleichmässiger ist. Sie konnte für die Vorderbeine bejaht (vor und nach Klauenpflege statistisch signifikant), für die Hinterbeine verneint werden. Eine mögliche Erklärung für diese Besonderheit könnte die unterschiedliche anatomische Aufhängung der Vorder- bzw. Hintergliedmassen sein. Die Vordergliedmassen sind

elastisch mit dem Rumpf über Sehnen und Bänder verbunden (Toussaint Raven, 1989). Je näher demnach ein Vorderbein unter dem Rumpf steht, desto mehr Gewichtskraft übernimmt es. Durch ein Auseinanderstellen der Vorderbeine wird zwar die Gliedmassenbelastung gleichmässiger, jedoch die Innenklaue mehr belastet. Dies hat praxisrelevante Bedeutung, weil die Kühe vor dem Fressgitter oft bodenweit stehen müssen. Der Zusammenhang der resultierenden Überlastung der Innenklauen mit der Entstehung von Klauenerkrankungen oder einem Fehlwachstum der Innenklaue ist naheliegend.

Weit gestellte Hinterbeine zeigen nach den Ergebnissen der hier vorgelegten Untersuchung eine ungleiche Belastung der Gliedmassen an; dieser Befund war aber nur nach Klauenpflege statistisch signifikant. Ein grösserer Abstand entsteht vermutlich dadurch, dass ein Hinterbein zur Seite gestellt wird. Dadurch wird es entlastet, die Partnergliedmasse jedoch mehr belastet oder überlastet. Die Hintergliedmassen sind mit der Hüfte über ein Kugelgelenk verbunden, welches eine sehr gute Stabilität aufweist, wenn die Beine parallel zum Boden stehen (Toussaint Raven, 1989). Für die oben gemachten Aussagen ist jedoch zu bedenken, dass die Abstände zwischen den Gliedmassen in der hier vorgelegten Untersuchung relativ gleichmässig waren.

Die **Rasse** hatte in der hier vorgelegten Untersuchung keinen Einfluss auf die Lastverteilung zwischen rechtem und linkem Bein (ausser an den Vorderbeinen nach Klauenpflege). Nach Huth et al. (2004) gab es Rasseunterschiede bei den Druckbelastungen und Kräften unter den Klauen von Kälbern; sie berichteten jedoch nicht über den Abstand der Gliedmassen oder führten mehrere Messungen durch.

Die **Körpermasse** der Tiere hatte einen signifikanten Einfluss auf den Abstand der Vorderbeine; je schwerer das Tier war, desto weiter war der Abstand. An den Hintergliedmassen zeigte sich kein signifikanter Effekt. Möglich wäre, dass in diesem Fall die Körpermasse kein geeigneter Parameter ist oder dass der Abstand der Hinterbeine von vielen weiteren Faktoren beeinflusst wird. Ein Beispiel wäre die Milchleistung oder die oben erwähnten anatomischen Gegebenheiten.

In der hier vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass Kühe mit einer höheren **Milchleistung**, obwohl nach dem Melken gemessen wurde, einen grösseren Abstand der Hinterbeine aufwiesen. Der Unterschied war vor der Klauenpflege signifikant; nach Klauenpflege gab es eine Tendenz zur Signifikanz. Bei einer höheren Milchleistung sind die Euter im Allgemeinen auch grösser und das

führt dazu, dass Kühe die Hinterbeine weiter auseinanderstellen müssen. Auch Lischer (2014) setzt eine bodenweite Stellung der Hintergliedmassen bei stark gefüllten Eutern voraus, die die Kühe dazu bringt, die Hinterbeine während des Gehens mit halbkreisförmigen Bewegungen um das Euter nach vorne zu führen. Dies verschlechtert die Klauenstellung zu Gunsten einer kuhhessigen Stellung und begünstigt Sohlenquetschung und Geschwüre der Aussenklaue (Lischer, 2014). Dies schliesst an Ergebnisse aus Untersuchungen von Chapinal et al. (2009a) an, bei denen ein gefülltes Euter (vor dem Melken) keinen Unterschied in der relativen Belastung zwischen rechtem und linkem Bein ausmachte, jedoch eine Verschlechterung in mehreren Lahmheitsscore-Kategorien zeigte. Dies wurde vor allem in einer verminderten Abduktion/Adduktion deutlich. Ebenso stellten Flower et al. (2006) eine Verschlechterung mehrerer Lahmheitsscore-Kategorien vor dem Melken verglichen mit danach fest.

Bei der Untersuchung des **Lastverhältnisses zwischen Aussenklauen und Innenklauen und dem Lastverhältnis zwischen rechtem und linkem Bein** sollte der Frage nachgegangen werden, ob bei ungleichmässiger Belastung zwischen rechtem und linkem Bein (also wenn das Gewicht mehr auf einem Bein ruht) auch die Belastung der Aussenklauen zu den Innenklauen ungleichmässiger ist. Tatsächlich war dies bei den Hintergliedmassen der Fall, sowohl vor als auch nach der Klauenpflege; die Aussenklauen wurden noch mehr belastet. Bei den Vordergliedmassen fand sich nur nach der Klauenpflege ein Einfluss: je ungleichmässiger rechtes und linkes Bein belastet wurden (also je mehr ein Vorderbein die Körpermasse trug), desto gleichmässiger wurden Aussenklauen und Innenklauen belastet. Eine mögliche Erklärung für die Befunde an den Hintergliedmassen liefert Toussaint Raven (1989): Durch die anatomische Verbindung zwischen Hinterbeinen und Hüfte in Form eines Kugelgelenks werden Verschiebungen der Gewichtskraft zu einer Seite hin vor allem auf die Aussenklaue dieser Seite verlagert. Die elastischere anatomische Verbindung der Vordergliedmassen mit dem Rumpf sollte nach Toussaint Raven eine ungleiche Gewichtsbelastung zwischen rechtem und linkem Bein besser ausgleichen; dies konnte in der hier vorgelegten Untersuchung nachvollzogen werden. Die Gewichtskraftverteilung zwischen Aussen- und Innenklaue blieb jedoch stets unterschiedlich, so dass kein kompletter Ausgleich festzustellen war.

Die **Gewichtskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterbeinen** unterschied sich stets signifikant und war für die Vorderbeine im Median 53.7% und für die Hinterbeine 46.3%. Dies deckt sich mit Ergebnissen aus der Literatur; so wurden Gewichtsbelastungen der Vorderbeine zwischen 62.2% (van der Tol et al., 2004), 51% vor dem Melken und 53% nach dem Melken (Chapinal et al., 2009a), 54% (Neveux et al., 2006) und 54.1% (Bruderer, 2015) verzeichnet.

An den Vorderbeinen wurde das **rechte Bein** öfters mehr belastet als **das linke**. An den Hintergliedmassen war dies genau umgedreht, da wurde bei allen Positionen, jeweils vor und nach Klauenpflege stets das linke Bein mehr belastet. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass die Tiere sich immer etwas Richtung der Wand lehnten. Die Messungen wurden unter einem Vordach, angrenzend an eine Scheune, durchgeführt. Der Messstand stand in ca. 3 m Entfernung von der Scheunenwand. Da Rinder Fluchttiere sind, suchen sie eher Schutz und somit möglicherweise eher die Nähe einer Wand als die einer offenen Seite. Die unterschiedliche Belastung von rechter und linker Gliedmasse kam auch bei van der Tol et al. (2004) vor, wobei es bei dieser Untersuchung wahrscheinlich eher damit zusammenhing, dass rechte und linke Gliedmasse nicht simultan gemessen wurden. Neveux et al. (2006) stellten bei ihren Untersuchungen eine Mehrbelastung der rechten Gliedmassen fest und führten dies ebenso auf das Design der Messplattform und die Bewegungen des Kopfes zurück. Möglicherweise, so meinten die Autoren, spiele auch die aussermittige Position des Pansens bei der asymmetrischen Belastung eine Rolle. Somit ist der Schluss zu ziehen, dass bei Rindern in der Regel ein Bein etwas mehr als das andere belastet wird. Ob stets das rechte Vorder- und linke Hinterbein mehr belastet werden, bedarf weiterer Untersuchungen. Die Belastung verteilt sich demnach nicht zu genau gleichen Teilen auf die beiden Vorder- und die beiden Hinterbeine.

Die **Last** ruhte an den Vorderbeinen stets mehr auf den **Innenklauen** und an den Hinterbeinen stets mehr auf den **Aussenklauen**. Im Median wurden in der hier vorgelegten Untersuchung an den Vorderbeinen der Kühe eine Lastverteilung von 24.5% (AK) zu 75.5% (IK) verzeichnet. In der Literatur findet man weniger derartig ausgeprägte Gewichtsverteilungen. So berichteten Distl et al. (1990) von einer Gewichtsverteilung von 44.1% (AK) zu 55.9% (IK). Bei zwei verschiedenen Gummimatten wurden Gewichtsverteilungen von 42.7% (AK) zu 57.3% (IK) auf einer glatten und härteren Gummimatte und 45.3% (AK) zu 54.7% (IK) auf einer weicheren und genoppten Gummimatte festgestellt (Bruderer, 2015).

An den Hintergliedmassen wurde in der vorliegenden Untersuchung eine Lastverteilung von 66% (AK) zu 34% (IK) ermittelt. Dies ist etwas weniger stark als die von van der Tol et al. (2004) gemessenen 80% (AK) zu 20% (IK) vor der Klauenpflege bzw. 70% zu 30% nach Klauenpflege. Toussaint Raven (1971) ermittelte Werte zwischen 60 und 70% für die Aussenklaue und 30 bis 40% für die Innenklaue. Bei Untersuchungen mit Gummimatten wurde eine Gewichtskraftverteilung von 62.2% (AK) zu 37.8% (IK) bei einer glatteren und härteren Gummimatte und 60% (AK) zu 40% (IK) bei einer weicheren und genoppten Gummimatte festgestellt (Bruderer, 2015). Bei den Messungen von Kehler and Gerwing (2004) wurde eine Gewichtsbelastung von 68% zu 32% (AK, IK) vor Klauenpflege und 50% zu 50% nach Klauenpflege ermittelt. Interessant sind auch die Ergebnisse von Telezhenko et al. (2008), die den Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf die Druckbelastung untersuchten. Dabei betrug die Gewichtsbelastung der Aussenklaue bei Haltung auf Betonspaltenboden 65%, bei Gummimatten 57.9% bei Asphaltboden mit Fressgittern 59.4% und bei Asphaltböden ohne Fressgitter 56.1%.

Durch **Änderung der Position**, genauer gesagt beim Wechsel von geradem Stand zur «Podestposition» und beim Wechsel vom schrägem Stand zur «Podestposition», gab es in der hier vorliegenden Untersuchung eine statistisch signifikante Mehrbelastung der Vordergliedmassen. Die Mehrbelastung fiel zwar zahlenmässig klein aus, aber da die Gewichtskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterbeinen sehr konstant zwischen den Messungen war, machte sich schon ein kleiner Anstieg deutlich bemerkbar. Wenn man sich rein mechanisch einen Wechsel zur «Podestposition» vorstellt, könnte man annehmen, dass mehr Gewichtskraft auf den Hintergliedmassen lasten würde. Gleiches nahmen zunächst auch Chapinal et al. (2009a) an. Es konnte auch nachgewiesen werden, dass Tiere, die mit den Vorderbeinen in den Liegeboxen standen, mehr interdigitale und Ballenläsionen aufwiesen. Weiterhin wurde festgestellt, dass sie – wenn sie längere Zeit in dieser Position verharrten – öfter lahm waren (Galindo and Broom, 2000). Die Frage, ob Tiere lahm werden und vermehrt Läsionen zeigen, weil sie in dieser Position stehen, oder ob sie diese Position freiwillig einnehmen, weil sie lahm sind bzw. Klauenläsionen aufweisen, kann nun nach den Ergebnissen der hier vorliegenden Untersuchung dahingehend diskutiert werden, dass sie die «Podestposition» möglicherweise einnehmen, weil sie dadurch weniger Krafteinwirkung auf die Klauen der Hinterbeine erfahren und ihnen diese Haltung angenehmer ist.

Ein prädisponierender Faktor für Klauenläsionen in dieser Position ist, dass die Hintergliedmassen vermehrt Detritus und Feuchte ausgesetzt sind, welches die Prävalenz von Klauenerkrankungen erhöht (Bergsten and Pettersson, 1992). Dieses Risiko dürfte allerdings in der Laufstallhaltung, in der die Klauen diesen Einflüssen sowieso ständig ausgesetzt sind, nur wenig erhöht sein. Galindo and Broom (2000) nahmen an, dass das vorne erhöhte Stehen zu einer verminderten Ballenhöhe führte und für infektiöse Klauenerkrankungen prädisponierte. Interessanterweise stellten Galindo and Broom (2000) fest, dass Tiere mit einer niedrigeren Rangordnung diese Position häufiger einnahmen als ranghohe Tiere. Eine Vermutung war, dass sie dieses Verhalten nutzten, um einen besseren Überblick über die Herde zu bekommen, damit sie möglichst schnell ausweichen konnten, wenn ein ranghöheres Tier nahte. Dieses Verhalten wurde auch von Arave and Albright (1981) berichtet. Aufgrund der Ergebnisse der hier vorliegenden Untersuchung stehen Kühe mit den Vorderbeinen erhöht, weil sie so die Gewichtskraft von den Hintergliedmassen in Richtung der Vordergliedmassen verschieben können und somit möglicherweise die kaudalen Abschnitte der Klaue (Ballenbereich) entlasten können. Auf Grund der nicht auszuwertenden Parameter Fläche und Druck und damit der Einteilung der Klaue in 2 Zonen konnte dieser Hypothese leider nicht weiter nachgegangen werden. Interessanterweise berichteten Neveux et al. (2006), dass Kühe Probleme haben, auf ebenem Untergrund Gewicht von den Hinterbeinen auf die Vorderbeine zu verlagern (Neveux et al. (2006)). Andersherum (von den Vorderbeinen auf die Hinterbeine) war dies nach ihren Untersuchungen möglich, wenn auch nur zu einem geringen Umfang. Da Kühe auf ebenem Boden es nicht können, nutzen sie vielleicht die «Podeststellung», weil sie nur so ihr Gewicht nach vorne verlagern können. Chapinal et al. (2009a) konnten allerdings keine Gewichtsverlagerung beim Wechsel auf mit den Vorderbeinen erhöhtes Stehen finden. Sie verwendeten aber nur ein 15 cm hohes Podest, welches womöglich nicht ausreichte, um das Gewicht nachweisbar zu verschieben. Bei unseren Messungen bei 3% geneigter Standfläche (7.5 cm hoher Holzbalken am Vorderende des Messstandes) war ebenfalls keine Gewichtsumverteilung festzustellen. Chapinal et al. (2009a) nahmen an, dass durch die Erhöhung der Vorderbeine mehr Last auf die Hinterbeine verlagert wird und es deswegen zu Klauenproblemen kommt. Anhand ihrer Ergebnisse gingen die Autoren davon aus, dass die Schäden an den Klauen eher durch die Exposition des Klauenhorns gegenüber zu harten und feuchten Böden zustande kommen.

Bisher ist unklar, was die Gewichtsverschiebung zu den Vorderbeinen bei der «Podeststellung» bewirkt. Eine mögliche Antwort lieferten die begrenzt möglichen Auswertungen der Fotografien, die während der Messungen entstanden: Die Kühe senkten ihren Kopf ein Stück weit nach unten, wenn sie mit den Vorderbeinen auf dem Podest standen (Abb. 33). Da die Masse des Kopfes und Halses einen Grossteil der Gewichtskraft für die Vorderbeine ausmacht, wäre es möglich, dass durch das Senken des Kopfes eine solche Verschiebung der Gewichtskraft auf die Vorderbeine möglich ist. Die Tiere fühlten sich in dieser Position während der Messzeit nicht unwohl, was sich am Wiederkauen zeigte. Weiterhin für eine Gewichtskraftverschiebung spricht, dass die Gliedmassen stets vertikal zum Boden standen und so den Rumpf nach kranial versetzt trugen (vergleiche Schemata in Abb. 2 c sowie reale Situation in Abb. 35 b).

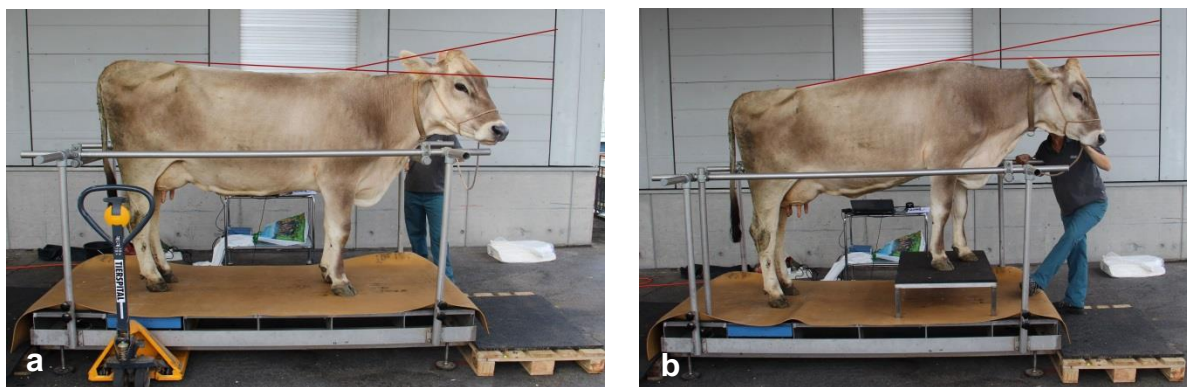


Abb. 35 **a**: Kuh während des Stehens auf ebener (gerader) Stehfläche, **b**: Kuh bei Messung in «Podestposition»

Eine weitere Hypothese war, dass bei Kühen, die diese Position einnehmen, vermehrt Gewichtskraft auf die Innenklaue (der Hinterbeine) und somit gleichmässiger übertragen wird. Meist soll dies durch eine Änderung der Gliedmassenstellung (z.B. Kuhhessigkeit), zustande kommen, wobei dies die Entwicklung von Rusterholzschen Sohlengeschwüren begünstigen soll (Lischer, 2014); in diesem Fall soll sich durch die Verlagerung des Schwerpunktes nach medial die grösste Druckkonzentration auf den hinteren axialen Teil der Aussenklaue konzentrieren, welche die Prädilektionsstelle für Rusterholzsche Sohlengeschwüre darstellt (Lischer, 2014). Bei der Untersuchung von Bruderer (2015) konnte bei 3% geneigter Standfläche nur eine Tendenz zur Mehrbelastung der Innenklauen festgestellt werden. In der vorliegenden Untersuchung konnte keine Mehrbelastung

der Innenklauen der Hintergliedmassen bei Positionswechsel (weder zu schrägem Stand noch zu Podest) festgestellt werden. Lediglich an den Vordergliedmassen wurde beim Wechsel von geradem zu schrägem Stand eine Mehrbelastung der Innenklauen verzeichnet. Es ist fraglich, ob dies ein zufälliges Ergebnis ist, denn man würde erwarten, dass eine solche Änderung dann auch für den Wechsel zur «Podestposition» stattfinden würde, welches aber nicht der Fall war.

Die Veränderungen der Gewichtsbelastung der Klauen **nach Klauenpflege** waren an den Vordergliedmassen nicht signifikant. Dies entsprach nicht den Erwartungen. Dennoch gibt es bisher in der Literatur keine Angaben über die Gewichtsverteilung zwischen Innen- und Aussenklauen der Vordergliedmassen vor und nach Klauenpflege und wie die Gewichtsverteilung durch eine funktionelle Klauenpflege zu beeinflussen ist. Zudem waren die Unterschiede zwischen Innen- und Aussenklauen (auch nach Klauenpflege) deutlicher als die in der Literatur gefundenen. So wurden bei van der Tol et al. (2003), allerdings an gehenden Rindern, während der mittleren Stützbeinphase ausgeglichene Gewichtskraftverteilungen zwischen lateraler und medialer Klaue (1664 N medial, 1659 N lateral) festgestellt. Mögliche Ursache für die hier vorgelegten Ergebnisse ist ein Messfehler (für die Ergebnisse vor Klauenpflege) oder wahrscheinlicher eine nicht konsequent genug durchgeführte Klauenpflege (für die Ergebnisse nach Klauenpflege). Ein Ausgleichen der Gewichtskraftverteilung zwischen den Klauen durch die elastische Verbindung zwischen Vordergliedmassen und dem Rumpf (Toussaint Raven, 1989) bestand nach den Ergebnissen der hier vorgelegten Untersuchung nicht.

Für die Gewichtskraftverteilung an den Hintergliedmassen gibt es Vergleichswerte in der Literatur. So berichteten Telezhenko et al. (2008) von einer Gewichtskraftverteilung von 60% zu 40% (laterale zu mediale Klaue) bei ungepflegten Klauen, van der Tol et al. (2004) von einer Gewichtskraftverteilung von 80 zu 20% (AK zu IK) vor der Klauenpflege und 70 zu 30% nach der Klauenpflege. Die letztere Angabe ist ein grösserer Unterschied als in der hier vorgelegten Untersuchung, bei der bei gerader Standfläche die Gewichtskraftverteilung vor Klauenpflege 67% zu 33% und nach der Klauenpflege 66% zu 34% betrug. Trotz des zahlenmässig kleinen Unterschieds war dieser signifikant. Zu ähnlichen Ergebnissen vor Klauenpflege kamen Kehler and Gerwing (2004). In deren Studie wurde eine Gewichtskraftverteilung von 68% zu 32% vor der Klauenpflege gemessen. Es waren

bisher die einzigen Autoren, die durch Klauenpflege eine ausgeglichene Gewichtskraftverteilung zwischen den Klauen (50% zu 50%) erzielten. Wie in der Einleitung erwähnt, wurde dabei bewusst die Aussenklaue durch vermehrtes Abtragen von Horn entlastet (Kehler, persönliche Mitteilung an Karl Nuss, Leipzig, Januar 2015). Theoretisch wäre, wenn man mit der Aussenklaue mit der Pflege beginnt (Lischer et al. (2014) ein grösserer Unterschied im Ausgleich der Gewichtskraftverteilung nach Klauenpflege möglich; diese Möglichkeit wurde in der hier vorgelegten Untersuchung nicht ausgeschöpft.

In der hier vorgelegten Untersuchung konnte erstmals das rechte und linke Bein eines Gliedmassenpaares simultan gemessen werden. Wie bei van der Tol et al. (2004) wurde keine ausgeglichene Lastverteilung zwischen Innen- und Aussenklauen festgestellt. Die Frage stellt sich nun, ob eine ausgeglichene Lastverteilung zwischen Innen- und Aussenklauen der Normalzustand und somit oberstes Ziel der funktionellen Klauenpflege ist, oder ob eine gewisse Ungleichheit eher dem Normalzustand entspricht und man bei der funktionellen Klauenpflege das Augenmerk auf eine Lastumverteilung auf die stärksten Anteile der Klaue, z.B. der Wand, legen sollte.

Bei der Erhebung der **Dorsalwandlänge vor und nach Klauenpflege** fiel auf, dass die Längen schon vor Klauenpflege in der vorliegenden Untersuchung unter den in der Literatur gefundenen Werten lagen. Die von Toussaint Raven (1989) empfohlene Länge von 7.5 cm wurde nur an der Innenklaue der rechten Hintergliedmasse vor Klauenpflege erreicht, sonst lagen alle Werte darunter. Vergleicht man die ermittelten Werte mit denen der empfohlenen optimalen Dorsalwandlängen von Sohrt (1999) so sollten die Längen bei den Tieren, die in der vorliegenden Untersuchung an den Hintergliedmassen gemessen wurden zwischen 7.2 und 7.8 cm liegen, wobei noch jeweils 5-7 mm für die Sohlendicke dazu zu rechnen sind. Bei dem Vergleich muss man beachten, dass in der vorliegenden Arbeit die Kühe nicht nach Alter und Körpermasse betrachtet wurden, sondern die Werte der Dorsalwandlängen für alle Tiere zusammengefasst wurden. Weiter ist auch zu beachten, dass die von Sohrt (1999) erhobenen Messwerte post mortem ermittelt wurden. Bei der Messung in vivo waren die Messbedingungen nicht immer optimal, weil oft nur ein kurzes Zeitfenster zum Messen vorhanden war oder die Tiere sich hin und her bewegten. Ausserdem standen die Klauen auf dem Boden, welches das Handling mit dem Messschieber erschwerte. Die von Tsuka et al. (2014)

empfohlenen 79.8 und 78.4 mm für die Innen- und Aussenklauen der Hintergliedmassen (ergibt eine Sohlendicke von 7 mm an der Klauenspitze) und die von Archer et al. (2015) empfohlenen 90 mm für die Hintergliedmassen wurden in der vorliegenden Untersuchung auch vor Klauenpflege nicht annähernd erreicht. Dennoch waren die Sohlen nicht zu dünn und keine der Kühe zeigte eine Lahmheit oder einen klammen Gang.

Bei CT-Messungen lag der proximale Ausgangspunkt der Längenmessung womöglich höher als der in-vivo-Ausgangspunkt (Bell (2015); Archer et al. (2015)). Laven et al. (2015) fanden erhebliche Unterschiede zwischen den digital und manuell erhobenen Messwerten (Dorsalwandlänge und andere Klauenparameter) und hielten diese Daten nicht für zusammen verwendbar.

Der **Dorsalwandwinkel vor und nach Klauenpflege** war in der hier vorgelegten Untersuchung kleiner als der in der Literatur angegeben. Der von Lischer et al. (2014) angegebene Wert von 50° für Normalklauen wurde auch nach Klauenpflege in der vorliegenden Untersuchung nicht erreicht. Auch beim Vergleich mit den Untersuchungen von Paulus (2004) und Nuss and Paulus (2006) wurden die Werte an den Hintergliedmassen in der vorliegenden Untersuchung unterschritten. Dabei ist zu beachten, dass die zuletzt genannten Autoren die Klauen post mortem bei einer standardisierten Sohlendicke massen. In der vorliegenden Untersuchung wurde nach den Prinzipien von Nuss and Lischer (2014a) gearbeitet, d.h. es wurden jeweils die Aussenklauen zuerst bearbeitet und anschliessend die Innenklauen. An den Vordergliedmassen waren die Winkel der Aussenklauen stets steiler als an den Innenklauen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Sigmund (2009), jedoch waren die Werte in der hier vorgelegten Untersuchung kleiner. Eine vergleichbare in-vivo-Untersuchung ergab ähnliche Werte für die Dorsalwandwinkel der Hintergliedmassen (Martig et al., 1983). Zum Beispiel betrug der Dorsalwandwinkel der medialen Klauen der Hintergliedmassen vor Klauenpflege in der hier vorgelegten Untersuchung 45.6°; in der von Martig et al. (1983) betrug er 44.9°. Übereinstimmend waren die Dorsalwandwinkel der medialen Klauen stets grösser als die der lateralen Klauen. Ebenfalls war der Dorsalwandwinkel nach Klauenpflege steiler als vor der Klauenpflege, wobei dies bei Martig et al. (1983) ausgeprägter ausfiel. Bei der hier vorgelegten Untersuchung und der von Martig et al. (1983) wurden die Kühe vorwiegend in Anbindehaltung gehalten.

Der altersabhängige Verlauf und der Einfluss der unterschiedlichen Haltung auf den Dorsalwandwinkel, wie ihn Vermunt and Greenough (1996) ermittelten, war nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Die Werte für die **Ballenlänge** stimmen mit den in der Literatur angegebenen Längen überein. Für die Hinterbeine ergeben sich ähnliche Werte wie bei Paulus (2004) und Nuss and Paulus (2006). Zum Beispiel betrug die Ballenlänge der medialen Klauen der Hintergliedmassen vor Klauenpflege in der hier vorgelegten Untersuchung 3.3cm; in der Untersuchung von Paulus (2004) und Nuss and Paulus (2006) bei Tieren jünger als 36 Monaten 3.45 cm und bei Tieren älter als 36 Monaten 3.36 cm.

Die Ballenlänge an den Vordergliedmassen war ebenfalls länger an den Aussenklauen als bei den Innenklauen, welches mit den Ergebnissen von Sigmund (2009) übereinstimmte, allerdings wiesen die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Klauen insgesamt kürzere Ballen auf. Durch Klauenpflege wurde die Ballenlänge stets verkürzt, jedoch war dies nicht an allen Klauen statistisch signifikant im Gegensatz zu den Angaben von Russke (2001), die stets einen statistisch signifikanten Unterschied messen konnte.

7.3. Schlussfolgerungen

In der hier vorgelegten Untersuchung konnte die Klauenbelastung von Kühen an zwei Gliedmassenpaaren simultan gemessen werden. Die Gewichtskraftverteilung zwischen den Gliedmassen unterlag dabei deutlichen Schwankungen; sie betrug zwischen den Vorder- oder Hintergliedmassen meist nicht 50:50. Eine gleichmässiger Belastung zwischen rechtem und linkem Bein wurde an den Vorderbeinen mit zunehmendem Abstand zwischen dem Gliedmassenpaar erreicht; an den Hinterbeinen führte ein grösserer Abstand zu einer ungleichmässigeren Gliedmassenbelastung. An den Vordergliedmassen nahm die Überlastung der Innenklauen mit gleichmässigerer Belastung zwischen den Gliedmassen zu; an den Hintergliedmassen war die Belastung zwischen Aussen- und Innenklauen gleichmässiger, wenn die Gewichtskraft gleichmässig zwischen den Gliedmassen verteilt war.

Die in der Literatur festgestellte Mehrbelastung der Vordergliedmassen konnte durch die hier vorgelegte Untersuchung ebenso bestätigt werden wie die

Mehrbelastung der Innenklauen der Vorder- und der Aussenklauen der Hinterbeine. Weder beim Stehen auf einer um 3% nach kaudal geneigten Standfläche noch in der «Podeststellung», dem mit den Vorderbeinen erhöhten Stehen, kam es zu einer gleichmässigeren Belastung zwischen Aussen- und Innenklauen. Auch durch die Klauenpflege konnte diese Asymmetrie nur wenig ausgeglichen werden. Zu einer signifikanten Veränderung kam es nur bei der «Podeststellung», indem die Kühe dabei mehr Gewichtskräfte auf die Vordergliedmassen verlagerten und die Hinterbeine entlasteten. Eine veränderte Kopf-Hals-Haltung schien dies zu begünstigen. Das mit den Vorderbeinen erhöhte Stehen und die in manchen Laufställen vorhandene Betonstufe am Fressgitter können somit der Entlastung der Hinterbeine dienen. Weitere Untersuchungen mit Druckmessungen sowie der Vermessung des Kopf-Hals-Winkels wären notwendig, um weiter abzuklären, ob und wie die Klauen der Hinterbeine durch die «Podeststellung» entlastet werden.

8. Literaturverzeichnis

Ackermann, S., Jäckel, L., Hädrich, G., Heckel, F., Füll, M., 2013. Peripartaler Stoffwechsel, Merzungsursachen und Nutzungsdauer bei Holstein-Friesian Kühen eines Bestandes. Wiener Tierärztliche Monatsschrift 100, 10-18.

Adams, A.E., Lombard, J.E., Fossler, C.P., Román-Muñiz, I.N., Kopral, C.A., 2017. Associations between housing and management practices and the prevalence of lameness, hock lesions, and thin cows on US dairy operations. Journal of Dairy Science 100, 2119.

Aeberhard, K., Bruckmaier, R.M., Kuepfer, U., Blum, J.W., 2001. Milk yield and composition, nutrition, body conformation traits, body condition scores, fertility and diseases in high-yielding dairy cows - Part 1. Journal of Veterinary Medicine Series A: Physiology Pathology Clinical Medicine 48, 97-110.

Alsleben, B., Russke, A., Wrede, J., Hamann, H., Distl, O., 2003. Messung der Druckverteilung unter den Klauen bei Rindern der Rasse Deutsche Holsteins in den ersten zwei Lebensjahren. Der Praktische Tierarzt 84, 232-240.

Amory, J.R., Barker, Z.E., Wright, J.L., Mason, S.A., Blowey, R.W., Green, L.E., 2008. Associations between sole ulcer, white line disease and digital dermatitis and the milk yield of 1824 dairy cows on 30 dairy cow farms in England and Wales from February 2003-November 2004. Preventive Veterinary Medicine 83, 381-391.

Amory, J.R., Kloosterman, P., Barker, Z.E., Wright, J.L., Blowey, R.W., Green, L.E., 2006. Risk factors for reduced locomotion in dairy cattle on nineteen farms in the Netherlands. Journal of Dairy Science 89, 1509-1515.

Arave, C.W., Albright, J.L., 1981. Cattle behavior. Journal of Dairy Science 64, 1318-1329.

Archer, S.C., Newsome, R., Dibble, H., Sturrock, C.J., Chagunda, M.G.G., Mason, C.S., Huxley, J.N., 2015. Claw length recommendations for dairy cow foot trimming. *Veterinary Record* 177, 222.

Baird, L.G., O'Connell, N.E., McCoy, M.A., Keady, T.W.J., Kilpatrick, D.J., 2009. Effects of breed and production system on lameness parameters in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 92, 2174-2182.

Barker, Z.E., Amory, J.R., Wright, J.L., Mason, S.A., Blowey, R.W., Green, L.E., 2009. Risk factors for increased rates of sole ulcers, white line disease, and digital dermatitis in dairy cattle from twenty-seven farms in England and Wales. *Journal of Dairy Science* 92, 1971-1978.

Barker, Z.E., Leach, K.A., Whay, H.R., Bell, N.J., Main, D.C., 2010. Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales. *Journal of Dairy Science* 93, 932-941.

Becker, J., Steiner, A., Kohler, S., Koller-Bähler, A., Wüthrich, M., Reist, M., 2014. Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: I. Prevalence. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 156, 71-78.

Bell, N.J., 2015. Evidence-based claw trimming for dairy cattle. *Veterinary Record* 177, 220-221.

Bergsten, C., Herlin, A.H., 1996. Sole haemorrhages and heel horn erosion in dairy cows: The influence of housing system on their prevalence and severity. *Acta Veterinaria Scandinavica* 37, 395-408.

Bergsten, C., Pettersson, B., 1992. The cleanliness of cows tied in stalls and the health of their hooves as influenced by the use of electric trainers. *Preventive Veterinary Medicine* 13, 229-238.

Bicalho, R.C., Machado, V.S., Caixeta, L.S., 2009. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of

lameness prevalence and thickness of the digital cushion. *Journal of Dairy Science* 92, 3175-3184.

Bielfeldt, J.C., Badertscher, R., Tölle, K.H., Krieter, J., 2005. Risk factors influencing lameness and claw disorders in dairy cows. *Livestock Production Science* 95, 265-271.

Bruderer, A., 2015. Klauenbelastung von Jungrindern und Kühen beim Stehen auf verschiedenen Gummimatten. Inauguraldissertation, Vetsuisse-Fakultät Zürich.

Burow, E., Thomsen, P.T., Rousing, T., Sørensen, J.T., 2014. Track way distance and cover as risk factors for lameness in Danish dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine* 113, 625-628.

Capion, N., Thamsborg, S.M., Enevoldsen, C., 2009. Prevalence and severity of foot lesions in Danish Holstein heifers through first lactation. *The Veterinary Journal* 182, 50-58.

Carvalho, V.R.C., Bucklin, R.A., Shearer, J.K., Shearer, L., 2005. Effects of trimming on dairy cattle hoof weight bearing and pressure distributions during the stance phase. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 48, 1653-1659.

Chapinal, N., Barrientos, A.K., von Keyserlingk, M.A.G., Galo, E., Weary, D.M., 2013. Herd-level risk factors for lameness in freestall farms in the northeastern United States and California. *Journal of Dairy Science* 96, 318-328.

Chapinal, N., De Passillé, A.M., Rushen, J., 2009a. Weight distribution and gait in dairy cattle are affected by milking and late pregnancy. *Journal of Dairy Science* 92, 581-588.

Chapinal, N., de Passillé, A.M., Rushen, J., 2010a. Correlated changes in behavioral indicators of lameness in dairy cows following hoof trimming. *Journal of Dairy Science* 93, 5758-5763.

Chapinal, N., de Passillé, A.M., Rushen, J., Wagner, S., 2010b. Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 93, 2007-2013.

Chapinal, N., de Passillé, A.M., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., Rushen, J., 2009b. Using gait score, walking speed, and lying behavior to detect hoof lesions in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92, 4365-4374.

Chapinal, N., Goldhawk, C., de Passillé, A.M., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Rushen, J., 2010c. Overnight access to pasture does not reduce milk production or feed intake in dairy cattle. *Livestock Science* 129, 104-110.

Clarkson, M.J., Downham, D.Y., Faull, W.B., Hughes, J.W., Manson, F.J., Merritt, J.B., Murray, R.D., Russell, W.B., Sutherst, J.E., Ward, W.R., 1996. Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. *Veterinary Record* 138, 563-567.

Colam-Ainsworth, P., Lunn, G.A., Thomas, R.C., Eddy, R.G., 1989. Behaviour of cows in cubicles and its possible relationship with laminitis in replacement dairy heifers. *Veterinary Record* 125, 573-575.

Cook, N.B., 2003. Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 223, 1324-1328.

Cramer, G., Lissemore, K.D., Guard, C.L., Leslie, K.E., Kelton, D.F., 2008. Herd- and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 91, 3888-3895.

Cramer, G., Lissemore, K.D., Guard, C.L., Leslie, K.E., Kelton, D.F., 2009a. The association between foot lesions and culling risk in Ontario Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 92, 2572-2579.

Cramer, G., Lissemore, K.D., Guard, C.L., Leslie, K.E., Kelton, D.F., 2009b. Herd-level risk factors for seven different foot lesions in Ontario Holstein cattle housed in tie stalls or free stalls. *Journal of Dairy Science* 92, 1404-1411.

de Vries, M., Bokkers, E.A.M., van Reenen, C.G., Engel, B., van Schaik, G., Dijkstra, T., de Boer, I.J.M., 2015. Housing and management factors associated with indicators of dairy cattle welfare. *Preventive Veterinary Medicine* 118, 80-92.

Dippel, S., Dolezal, M., Brenninkmeyer, C., Brinkmann, J., March, S., Knierim, U., Winckler, C., 2009. Risk factors for lameness in freestall-housed dairy cows across two breeds, farming systems, and countries. *Journal of Dairy Science* 92, 5476-5486.

Distl, O., Kräusslich, H., Mair, A., Spielmann, C., Diebschlag, W., 1990. Computergestützte Analyse von Druckverteilungsmessungen an Rinderklauen. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 97, 474-479.

Distl, O., Schmid, D., 1993. Systematische Kontrolle der Klauengesundheit bei Kühen in ganzjähriger Laufstallhaltung. *Tierärztliche Praxis* 21, 27-35.

Edmonson, A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T., Webster, G., A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72, 68-78.

Enting, H., Kooij, D., Dijkhuizen, A.A., Huirne, R.B.M., Noordhuizen-Stassen, E.N., 1997. Economic losses due to clinical lameness in dairy cattle. *Livestock Production Science* 49, 259-267.

Fabian, J., Laven, R.A., Whay, H.R., 2014. The prevalence of lameness on New Zealand dairy farms: a comparison of farmer estimate and locomotion scoring. *The Veterinary Journal* 201, 31-38.

Fjeldaas, T., Sogstad, A.M., Osteras, O., 2011. Locomotion and claw disorders in Norwegian dairy cows housed in freestalls with slatted concrete, solid concrete, or solid rubber flooring in the alleys. *Journal of Dairy Science* 94, 1243-1255.

Fjeldaas, T., Sogstad, Å.M., Østerås, O., 2006. Claw trimming routines in relation to claw lesions, claw shape and lameness in Norwegian dairy herds housed in tie stalls and free stalls. *Preventive Veterinary Medicine* 73, 255-271.

Flower, F.C., Sanderson, D.J., Weary, D.M., 2006. Effects of milking on dairy cow gait. *Journal of Dairy Science* 89, 2084-2089.

Fourichon, C., Seegers, H., Bareille, N., Beaudeau, F., 1999. Effects of disease on milk production in the dairy cow: A review. *Preventive Veterinary Medicine* 41, 1-35.

Galindo, F., Broom, D.M., 2000. The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds. *Research in Veterinary Science* 69, 75-79.

Green, L.E., Hedges, V.J., Schukken, Y.H., Blowey, R.W., Packington, A.J., 2002. The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85, 2250-2256.

Haskell, M.J., Rennie, L.J., Bowell, V.A., Bell, M.J., Lawrence, A.B., 2006. Housing system, milk production, and zero-grazing effects on lameness and leg injury in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89, 4259-4266.

Haufe, H.C., Gygax, L., Wechsler, B., Stauffacher, M., Friedli, K., 2012. Influence of floor surface and access to pasture on claw health in dairy cows kept in cubicle housing systems. *Preventive Veterinary Medicine* 105, 85-92.

Hernandez-Mendo, O., Von Keyserlingk, M.A.G., Veira, D.M., Weary, D.M., 2007. Effects of pasture on lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90, 1209-1214.

Holzhauer, M., Wind, S., van der Tol, R., Hopster, H., 2006. An alternative approach to preventive trimming. In: 14th International Symposium and 6th Conference on Lameness in Ruminants, Uruguay, S. 32-33.

Hultgren, J., Manske, T., Bergsten, C., 2004. Associations of sole ulcer at claw trimming with reproductive performance, udder health, milk yield, and culling in Swedish dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine* 62, 233-251.

Huth, C., Russke, A., Alsleben, B., Hamann, H., Distl, O., 2004. Körper- und Klauenmaße sowie Druckverteilung unter den Klauen bei Kälbern verschiedener Rinderrassen. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 117, 316-326.

Ito, K., von Keyserlingk, M.A.G., LeBlanc, S.J., Weary, D.M., 2010. Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93, 3553-3560.

Jan, O., Jaśkowski, J.M., 2010. Incidence and prevalence of lameness and their relationship to milk yield in high-yielding cows. *Medycyna Weterynaryjna* 66, 818-821.

Kehler, W., Gerwing, T., 2004. Effects of functional claw trimming on pressure distribution under hind claws of German Holstein cows. *Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija*, S. 103-104.

Kremer, P.V., Nueske, S., Scholz, A.M., Foerster, M., 2007. Comparison of claw health and milk yield in dairy cows on elastic or concrete flooring. *Journal of Dairy Science* 90, 4603-4611.

Kuczaj, M., Zielak, A., Blicharski, P., 2008. Reasons for the culling of Polish Holstein-Friesian cows in a high yield herd. *Medycyna Weterynaryjna* 64, 1205-1208.

Kujala, M., Pastell, M., Soveri, T., 2008. Use of force sensors to detect and analyse lameness in dairy cows. *Veterinary Record* 162, 365-368.

Laven, L.J., Wang, L., Regnerus, C., Laven, R.A., 2015. Measuring claw conformation in cattle: Assessing the agreement between manual and digital measurement. *Animals* 5, 687-701.

Laven, R.A., Lawrence, K.R., 2006. An evaluation of the seasonality of veterinary treatments for lameness in UK dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89, 3858-3865.

Lischer, C., 2014. Biomechanik. In: Lischer, C. (Ed.), *Klauenpflege, Handbuch zur Klauenpflege beim Rind*, edition-Imz, S. 33-45.

Lischer, C., Steiner, A., Geyer, H., Friedli, K., Ossent, P., Nuss, K., 2014. *Klauenpflege: Handbuch zur Klauenpflege beim Rind*. edition-Imz.

Main, D.C., Whay, H.R., Green, L.E., Webster, A.J., 2003. Effect of the RSPCA freedom food scheme on the welfare of dairy cattle. *Veterinary Record* 153, 227-231.

Mair, A., Diebschlag, W., Distl, O., Kräusslich, H., 1988. Measuring device for the analysis of pressure distribution on the foot soles of cattle. *Zentralblatt für Veterinärmedizin. Reihe A* 35, 696-704.

Manske, T., Hultgren, J., Bergsten, C., 2002a. The effect of claw trimming on the hoof health of Swedish dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine* 54, 113-129.

Manske, T., Hultgren, J., Christer, B., 2002b. Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine* 54, 247-263.

Manson, F.J., Leaver, J.D., 1989. The effect of concentrate: Silage ratio and of hoof trimming on lameness in dairy cattle. *Animal Production* 49, 15-22.

Martig, J., Leuenberger, W.P., Tschudi, P., Dozzi, M., 1983. Untersuchungen über die Ursachen des spezifisch traumatischen Sohlengeschwürs der Kuh. *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe A* 30, 214-222.

Meyer, S.W., Weishaupt, M.A., Nuss, K.A., 2007. Gait pattern of heifers before and after claw trimming: A high-speed cinematographic study on a treadmill. *Journal of Dairy Science* 90, 670-676.

Muggli, E., 2007. Längen- und Breitenunterschiede zwischen medialer und lateraler Zehe bei Rindern verschiedenen Alters. Röntgenologische Messungen. Inauguraldissertation, Vetsuisse-Fakultät Zürich.

Naumann, A., Brungs, A., 2014. MLP- Daten - Basis für ein Frühwarnsystem zur Überwachung der Eutergesundheit auf Herdenebene. Tagung Eutergesundheit, Halle/Saale, 2014, 2-4.

Navarro, G., Green, L.E., Tadich, N., 2013. Effect of lameness and lesion specific causes of lameness on time budgets of dairy cows at pasture and when housed. The Veterinary Journal 197, 788-793.

Neveux, S., Weary, D.M., Rushen, J., Von Keyserlingk, M.A.G., De Passillé, A.M., 2006. Hoof discomfort changes how dairy cattle distribute their body weight. Journal of Dairy Science 89, 2503-2509.

Nuss, K., Lischer, C., 2014a. Funktionelle Klauenpflege. In: Lischer, C. (Ed.), Klauenpflege, Handbuch zur Klauenpflege beim Rind, S. 71-78.

Nuss, K., Lischer, C., 2014b. Technik der Klauenpflege. In: Lischer, C. (Ed.), Klauenpflege, Handbuch zur Klauenpflege beim Rind, S. 61-69.

Nuss, K., Paulus, N., 2006. Measurements of claw dimensions in cows before and after functional trimming: A post-mortem study. The Veterinary Journal 172, 284-292.

Nuss, K., Waldern, N.M., Weishaupt, M.A., Wiestner, T., 2015. Kinetische Auswertung des Schrittes von Jungrindern und Kühen auf einem instrumentierten Laufband. Tierärztliche Praxis Großtiere 43, 73-80.

Olechnowicz, J., Jaśkowski, J.M., 2011. Reasons for culling, culling due to lameness, and economic losses in dairy cows. Medycyna Weterynaryjna 67, 618-621.

Olmos, G., Boyle, L., Hanlon, A., Patton, J., Murphy, J.J., Mee, J.F., 2009a. Hoof disorders, locomotion ability and lying times of cubicle-housed compared to pasture-based dairy cows. *Livestock Science* 125, 199-207.

Olmos, G., Mee, J.F., Hanlon, A., Patton, J., Murphy, J.J., Boyle, L., 2009b. Peripartum health and welfare of Holstein-Friesian cows in a confinement-TMR system compared to a pasture-based system. *Animal Welfare* 18, 467-476.

Orpin, P.G., Esslemont, R.J., 2010. Culling and wastage in dairy herds: An update on incidence and economic impact in dairy herds in the UK. *Cattle Practice* 18, 163-172.

Ossent, P., Peterse, D.J., Schamhardt, H.C., 1987. Distribution of load between the lateral and medial hoof of the bovine hind limb. *Zentralblatt für Veterinärmedizin. Reihe A* 34, 296-300.

Ouweltjes, W., Holzhauer, M., van der Tol, P.P.J., van der Werf, J., 2009. Effects of two trimming methods of dairy cattle on concrete or rubber-covered slatted floors. *Journal of Dairy Science* 92, 960-971.

Palmer, M.A., Law, R., O'Connell, N.E., 2012. Relationships between lameness and feeding behaviour in cubicle-housed Holstein–Friesian dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 140, 121-127.

Pastell, M., Hänninen, L., de Passillé, A.M., Rushen, J., 2010. Measures of weight distribution of dairy cows to detect lameness and the presence of hoof lesions. *Journal of Dairy Science* 93, 954-960.

Pastell, M., Hautala, M., Poikalainen, V., Praks, J., Veermäe, I., Kujala, M., Ahokas, J., 2008a. Automatic observation of cow leg health using load sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 62, 48-53.

Pastell, M., Kujala, M., Aisla, A.M., Hautala, M., Poikalainen, V., Praks, J., Veermäe, I., Ahokas, J., 2008b. Detecting cow's lameness using force sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 64, 34-38.

Pastell, M., Madsen, H., 2008. Application of CUSUM charts to detect lameness in a milking robot. *Expert Systems with Applications* 35, 2032-2040.

Pastell, M., Takko, H., Gröhn, H., Hautala, M., Poikalainen, V., Praks, J., Veermäe, I., Kujala, M., Ahokas, J., 2006. Assessing cows' welfare: Weighing the cow in a milking robot. *Biosystems Engineering* 93, 81-87.

Pastell, M.E., Kujala, M., 2007. A probabilistic neural network model for lameness detection. *Journal of Dairy Science* 90, 2283-2292.

Paulus, N., 2004. Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Beckengliedmassen von Fleckviehrindern. Inauguraldissertation, Vetsuisse Fakultät, Universität Zürich.

Phillips, C.J.C., Patterson, S.J., Ap Dewi, I., Whitaker, C.J., 1996. Volume assessment of the bovine hoof. *Research in Veterinary Science* 61, 125-128.

Rajala-Schultz, P.J., Gröhn, Y.T., McCulloch, C.E., 1999. Effects of milk fever, ketosis, and lameness on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82, 288-294.

Rajkondawar, P.G., Lefcourt, A.M., Neerchal, N.K., Dyer, R.M., Varner, M.A., Erez, B., Tasch, U., 2002a. The development of an objective lameness scoring system for dairy herds: Pilot study. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 45, 1123-1125.

Rajkondawar, P.G., Tasch, U., Lefcourt, A.M., Erez, B., Dyer, R.M., Varner, M.A., 2002b. A system for identifying lameness in dairy cattle. *Applied Engineering in Agriculture* 18, 87-96.

Rushen, J., Pombourcq, E., Passillé, A.M.d., 2007. Validation of two measures of lameness in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 106, 173-177.

Russke, A., 2001. Entwicklung von Klauenform und Klauenhorneigenschaften bei Jungrindern der Rassen Deutsche Holsteins und Deutsches Braunvieh. Inauguraldissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

Rusterholz, A., 1920. Das spezifisch-traumatische Klauensohlengeschwür des Rindes. Schweizerisches Archiv für Tierheilkunde 62, 421-446, 505-525.

Rutherford, K.M., Langford, F.M., Jack, M.C., Sherwood, L., Lawrence, A.B., Haskell, M.J., 2009. Lameness prevalence and risk factors in organic and non-organic dairy herds in the United Kingdom. The Veterinary Journal 180, 95-105.

Schmid, T., Weishaupt, M.A., Meyer, S.W., Waldern, N., Peinen, K.v., Nuss, K., 2009. High-speed cinematographic evaluation of claw-ground contact pattern of lactating cows. The Veterinary Journal 181, 151-157.

Schwarzmann, B., Köstlin, R., Nuss, K., 2007. Größenunterschiede zwischen den lateralen und medialen Zehenknochen und Klauen von Kälbern. Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Grosstiere - Nutztiere 35, 341-349.

Scott, G.B., 1988. Studies of the gait of Friesian heifer cattle. Veterinary Record 123, 245-248.

Sigmund, B., 2009. Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Schultergliedmassen von Fleckviehrindern. Inauguraldissertation, Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Sogstad, Å M., Fjeldaas, T., Østerås, O., Forshell, K.P., 2005. Prevalence of claw lesions in Norwegian dairy cattle housed in tie stalls and free stalls. Preventive Veterinary Medicine 70, 191-209.

Sogstad, Å.M., Østerås, O., Fjeldaas, T., Refsdal, A.O., 2007. Bovine claw and limb disorders at claw trimming related to milk yield. Journal of Dairy Science 90, 749-759.

Sohrt, J.T., 1999. Ermittlung von Standardmassen für die Klauenpflege durch Untersuchungen über die Beziehung der anatomischen Innenstruktur zum Hornschuh an Klauen der Hintergliedmasse Deutsch Schwarzbunter Rinder mit Berücksichtigung von Reheveränderungen. Inauguraldissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

Somers, J.G.C.J., Frankena, K., Noordhuizen-Stassen, E.N., Metz, J.H.M., 2003. Prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems. *Journal of Dairy Science* 86, 2082-2093.

Somers, J.G.C.J., Frankena, K., Noordhuizen-Stassen, E.N., Metz, J.H.M., 2005. Risk factors for digital dermatitis in dairy cows kept in cubicle houses in The Netherlands. *Preventive Veterinary Medicine* 71, 11-21.

Tasch, U., Rajkondawar, P.G., 2004. The development of a SoftSeparator™ for a lameness diagnostic system. *Computers and Electronics in Agriculture* 44, 239-245.

Telezhenko, E., Bergsten, C., Magnusson, M., Ventorp, M., Nilsson, C., 2008. Effect of different flooring systems on weight and pressure distribution on claws of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91, 1874-1884.

Telezhenko, E., Lidfors, L., Bergsten, C., 2007. Dairy cow preferences for soft or hard flooring when standing or walking. *Journal of Dairy Science* 90, 3716-3724.

Toussaint Raven, E., 1971. Belastingsmeting aan de ondervoet van het rund. *Tijdschrift Diergeneeskunde* 96, 1237-1243.

Toussaint Raven, E., 1989. *Cattle Footcare and Claw Trimming*. The Crowood Press Ltd, Ramsbury, Marlborough Wiltshire.

Tsuka, T., Murahata, Y., Azuma, K., Osaki, T., Ito, N., Okamoto, Y., Imagawa, T., 2014. Quantitative evaluation of the relationship between dorsal wall length, sole thickness, and rotation of the distal phalanx in the bovine claw using computed tomography. *Journal of Dairy Science* 97, 6271-6285.

van der Tol, P.P.J., Metz, J.H.M., Noordhuizen-Stassen, E.N., Back, W., Braam, C.R., Weijs, W.A., 2002. The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate. *Journal of Dairy Science* 85, 1476-1481.

van der Tol, P.P.J., Metz, J.H.M., Noordhuizen-Stassen, E.N., Back, W., Braam, C.R., Weijs, W.A., 2003. The vertical ground reaction force and the pressure distribution on the claws of dairy cows while walking on a flat substrate. *Journal of Dairy Science* 86, 2875-2883.

van der Tol, P.P.J., van der Beek, S.S., Metz, J.H.M., Noordhuizen-Stassen, E.N., Back, W., Braam, C.R., Weijs, W.A., 2004. The effect of preventive trimming on weight bearing and force balance on the claws of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 87, 1732-1738.

van Gastelen, S., Westerlaan, B., Houwers, D.J., van Eerdenburg, F.J.C.M., 2011. A study on cow comfort and risk for lameness and mastitis in relation to different types of bedding materials. *Journal of Dairy Science* 94, 4878-4888.

Vermunt, J.J., Greenough, P.R., 1996. Claw conformation of dairy heifers in two management systems. *British Veterinary Journal* 152, 321-331.

Warnick, L.D., Janssen, D., Guard, C.L., Gröhn, Y.T., 2001. The effect of lameness on milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84, 1988-1997.

Zeiner, H., Schobesberger, H., Skalicky, M., Stanek, C., 2007. Effect of different claw trimming methods on the pressure distribution under the bovine claw - An in vitro study. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 120, 165-172.

9. Danksagung

Ich möchte mich hiermit ganz herzlich bei allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, bedanken.

Herrn Prof. Dr. Karl Nuss für die Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats, die stetige Unterstützung bei der Durchführung der Klauenpflege, den Messungen sowie anschliessend allen Ratschlägen und Anregungen zum Fertigstellen der Dissertation. Weiter möchte ich mich für die Zusammenarbeit in der Klinik bedanken, bei der ich so viel lernen durfte, was mir heute in der Praxis hilft.

Herrn Prof. em Dr. Dr. h. c. Ueli Braun für die Möglichkeit, die Druck- und Kraftmessungen am Departement für Nutztiere der Universität Zürich durchführen zu können, den Klauenpflegekurs im Vorfeld durchführen zu dürfen und Kühe vom Stigenhof sowie vom Strickhof Lindau beziehen zu können.

Herrn Prof. Dr. Marcus Clauss für die Übernahme des Korreferats.

Herrn Prof. Dr. Torgerson für die statistische Beratung.

Herrn Thomas Wiestner für die stetige Unterstützung bei der Analyse der Daten und dem Umgang mit den technischen Schwierigkeiten während der Auswertung.

Meinem Mann, Andres Cardona Gavaldon, für die grosse Hilfe bei der statistischen Auswertung, dem Anfertigen der Diagramme, für das Korrekturlesen und die Unterstützung in jeglicher Hinsicht in den letzten Jahren.

Frau Dr. med. vet. Anita Bruderer für die Einführung in die Messungen und Beratung bei technischen Schwierigkeiten.

Meiner Schwester, Christine Oehme, für die Hilfe bei der Anfertigung der Grafiken.

Frau Anja Tschuor, Frau Catharina Morscher, Frau Alice Vollenweider und Frau Maruschka Blaser für die Assistenz bei der Durchführung der Messungen und der Klauenpflege.

Herrn Luciano Schmid für das Anfertigen des Podestes und die anfallenden Reparaturen des Messstandes.

Den Landwirten, dem Stigenhof sowie dem Strickhof Lindau für das zur Verfügungstellen der Tiere.

Den Pflegern der Nutztierklinik des Tierspitals Zürich, die beim Transport und dem Auf und Abbau des Messstandes geholfen haben.

10. Lebenslauf

Vorname Name	Nancy Anette Cardona Gavaldon
Geburtsdatum	03. März 1989
Geburtsort	Zwickau, Deutschland
Nationalität	deutsch
08/1995 – 07/1999	Grundschule: 25. Grundschule (Dresden, Deutschland)
08/1999 – 06/2007	Gymnasium: Evangelisches Kreuzgymnasium (Dresden, Deutschland)
28.06.2007	Abitur (Ev. Kreuzgymnasium Dresden, Deutschland)
10/2007 – 02/2013	Studium der Veterinärmedizin (Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig, Deutschland)
09/2009 – 08/2010	Studium der Veterinärmedizin, Erasmus-Austausch (Wiederkäuerklinik, Vetsuisse-Fakultät, Universität Bern, Schweiz)
15.02.2013	Abschlussprüfung vet. med. (Staatsexamen) (Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig, Deutschland)
03/2013 – 02/2014	Internship Departement für Nutztiere, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Schweiz
03/2014 – 02/2016	Doktorandin und Assistentin Abteilung für Nutztierchirurgie, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Schweiz
09/2013 – 04/2018	Anfertigung der Dissertation unter Leitung von Prof. Dr. med. vet. Karl Nuss am Departement für Nutztiere, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Schweiz
03/2016 – heute	Assistentin Tierarztpraxis Ergolz, Gelterkinden, BL, Schweiz

11. Anhang: Auflistung der Versuchstiere

Identität	Nr.	Mess num mer	Rasse	Alter (Mon ate)	Kalbung	Lakta tions num mer	Trächtigkeits dauer	KB Datum	Lakta tions dauer (Mon ate)	Ø ML	Ge wicht gesamt	Ge wicht vorne	Ge wicht hinten	BCS	Hal tungs form	Erkrankung	Vorbehandlung	letzte KP	Datum Messung
Edna(120.0672.1554.3)	1	100	BV	76	21.01.2014	4	nein	-	3	19.5	640	340	300	3.5	ABH	keine	Blutspende	Nov 13	30.3. u. 01.04.14
Priska (120.0820.6400.3)	2	101	RF	49	07.11.2013	2	10 Wochen	20.01.2014	5	11.8	590	320	270	4	ABH	keine	Blutspende	Nov 13	30.3. u. 01.04.14
Ragusa (120.0895.6931.0)	3	102	BV	32	09.01.2014	1	nein	-	2	13.5	500	290	210	2.5	ABH	keine	keine	Nov 13	2.4. u. 4.4.14
Sibille (120.0966.8236.1)	4	103	RF	25	12.02.2014	1	nein	-	2	16.2	670	370	300	4	ABH	keine	keine	Nov 13	2.4. u. 4.4.14
Elmina (120.0786.3437.1)	5	104	SF	55	26.02.2014	3	nein		2	27.7	840	450	390	2.75	LSH	RLV	OP, Proca, Fluni	Apr 13	2.4. u. 4.4.14
Uscha (120.0744.6889.5)	6	105	BV	64	Okt 13	3	5 Monate	21.11.2013	6	10.1	590	310	280	2.5	ABH	keine	keine	Nov 13	18.4. u. 20.4.14
Suleika (120.0820.6404.1)	7	106	RF	46	05.03.2014	2	nein	-	2	21.5	680	370	310	4	ABH	keine	Blutspende	Nov 13	18.4. u. 20.4.14
Alabama (120.0867.6624.8)	8	107	BV	43	Dez 13	2	2 Monate		4	k.A.	610	320	290	2.5	LSH	Zitzenvrl.	NPS	Nov 13	18.4. u. 20.4.14
Calanda ET (120.0806.6705.3)	9	108	BV	58	13.02.2014	2	3 Wochen		4	11.4	710	380	330	2.5	ABH	Ileus	OP, Proca, Fluni	Feb 14	13.6. u. 14.6.14
Finella (120.0844.8171.6)	10	110	SF	55	10.04.2014	3	1 Woche		3	15	570	300	270	2.5	LSH	FK	keine	Mrz 14	28.7. u. 29.7.14
Vendig (120.1023.4791.8)	11	111	SF	28	04.06.2014	1	nein	-	2	16.6	620	330	290	2.5	LSH	Zitzenvrl.	Gentapen	keine	29.7. u. 30.7.14
Kelly (120.0810.0492.5)	12	112	BV	61	29.12.2013	3	20 Wochen	21.03.2014	7	10.6	640	340	300	2.5	LSH	keine	keine	Sep 13	30.7. u. 31.7.14
Lacoste (120.0908.8405.1)	13	113	BV	44	06.12.2013	3	17 Wochen	12.04.2014	7	7.4	510	270	240	2.5	ABH	keine	keine	Sep 13	30.7. u. 31.7.14
Paola (120.0820.6407.2)	14	114	RF	41	01.03.2014	1	4,5 Monate	20.04.2014	6	11.8	580	320	260	3	ABH	keine	keine	Apr 14	8.9. u. 10.9.14
Vroni (120.0813.3946.1)	15	115	BV	62	04.01.2014	3	5 Monate	09.04.2014	8	9.9	610	330	280	3	ABH	keine	keine	Apr 14	8.9. u. 10.9.14
Geraldine (120.0975.9853.1)	16	116	RF	31	14.03.2014	1	4 Monate	05.05.2014	6	16.6	570	310	260	2.5	ABH	keine	keine	Apr 14	8.9. u. 10.9.14
Mirca (120.0831.0086.1)	17	117	BV	51	25.07.2013	1	nein	-	16	19.3	670	350	320	3	ABH	unfruchtbar		Mrz 14	8.9. u. 10.9.14
Scarlett (120.0863.9879.1)	18	118	RF	48	30.04.2014	2	3 Monate	13.06.2014	5	9.2	680	360	300	2.5	ABH	keine	keine	Apr 14	27.9. u. 29.9.14
Fabiola (120.0820.6399.0)	19	119	RF	56	16.05.2014	2	2 Monate	24.07.2014	4	18	650	340	310	3.5	ABH	keine	keine	Apr 14	27.9. u. 29.9.14
Ursi (120.0813.3969.0)	20	120	BV	52	12.03.2014	2	4 Monate	08.05.2014	6	16.5	600	320	280	2.75	ABH	keine	keine	Apr 14	27.9. u. 29.9.14
Italia (120.0844.5561.8)	21	122	SF	50	31.12.2013	2	6,5Monate	08.03.2014	9	4.6	690	370	320	2.25	LSH	BDD	OP, Proca, Fluni	Apr 14	29.9. u. 30.9.14
Palma (120.0847.0038.1)	22	123	BV	54	12.01.2014	2	4 Monate	15.05.2014	8	9.2	680	360	320	3	ABH	keine	keine	Apr 14	30.9. u. 2.10.14
Ladina (120.0583.0711.0)	23	125	BV	75	04.04.2014	4	1 Monat	17.08.2014	5	14.1	590	310	280	2.5	ABH	keine	keine	Apr 14	30.9. u. 2.10.14
Iberia (120.0893.6832.6)	24	126	RF	50	23.06.2014	2	nein	-	3	19.1	610	320	290	2.25	ABH	keine	keine	Apr 14	30.9. u. 2.10.14
Gerda (120.0955.8410.9)	25	127	RF	36	30.01.2014	1	4 Monate	05.06.2014	9	7.1	560	300	260	2.5	ABH	LLV	OP, Proca, Fluni	Apr 14	20.10. u. 21.10.14
Sirna (120.0908.4532.8)	26	128	RF	33	04.09.2014	1	nein	-	1	19.6	600	320	280	3	ABH	LLV	OP, Proca, Fluni	Apr 14	21.10 u. 22.10.14
Rebe (120.1021.2872.2)	27	129	SF	31	15.10.2014	1	nein	-	3	20.8	600	310	290	2.25	ABH	keine	keine	keine	26.1. u. 27.1.15
Helen (120.1021.2871.5)	28	130	SF	31	11.10.2014	1	1 Monat	18.12.2014	3	22	680	350	330	2	ABH	keine	keine	keine	26.1. u. 27.1.15
Olivia CH (120.0926.1431.1)	29	132	SF	48	13.08.2014	2	nein	-	5	10.9	545	300	245	2	ABH	BP	Advocid, Fluni	Mai 14	28.1. u. 29.1.15
Julia (120.1032.6233.3)	30	133	SF	24	15.12.2014	1	nein	-	3	19.3	500	270	230	2	LSH	BDD	Clamoxyl, Fluni	keine	21.2. u. 22.2.15
Jamaica (120.1021.2863.0)	31	134	SF	35	25.03.2014	1	6 Monate	03.07.2014	10	14.6	600	310	290	2.75	ABH	keine	keine	Okt 14	21.2. u. 22.2.15
Himalaya (120.0975.9843.2)	32	135	SF	38	08.02.2014	1	2 Monate	13.11.2014	11	17.5	610	330	280	2.75	ABH	keine	keine	Okt 14	21.2. u. 22.2.15